

Promover o desenvolvimento do Raciocínio no Ensino das Ciências Naturais: o valor heurístico dos modelos e do V de Gowin

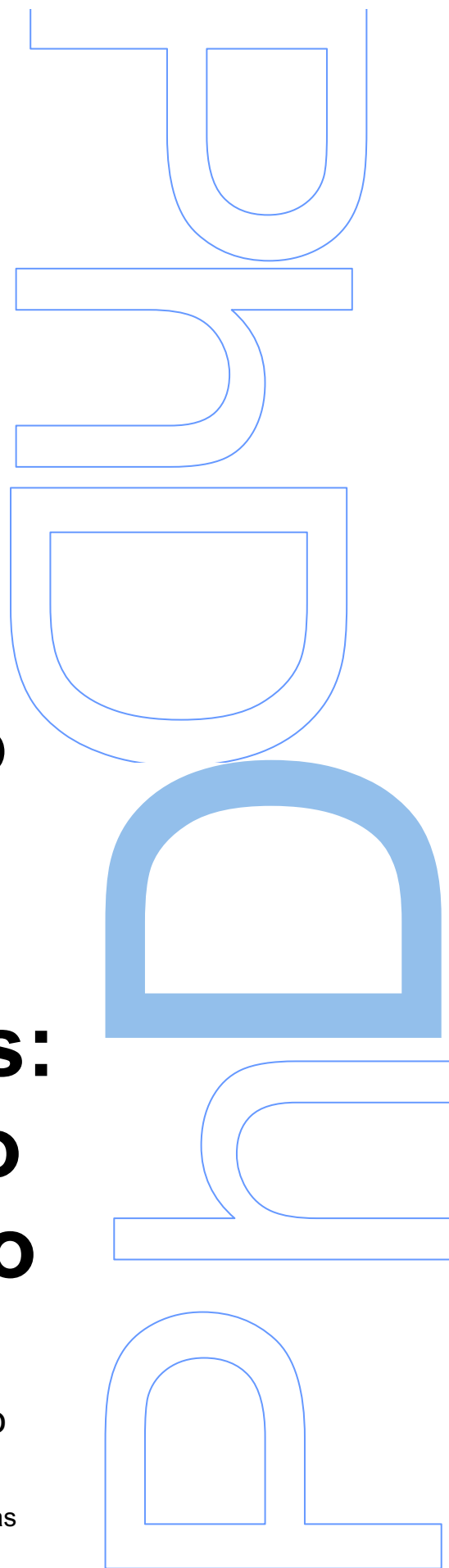
Marta Felismina Fontes de Pinho Ribeiro

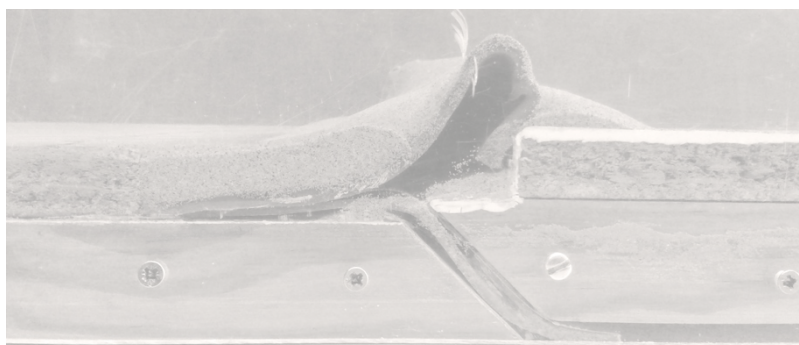
Tese de Doutoramento apresentada à

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Ensino e Divulgação das Ciências – especialidade Ensino das Ciências

2018





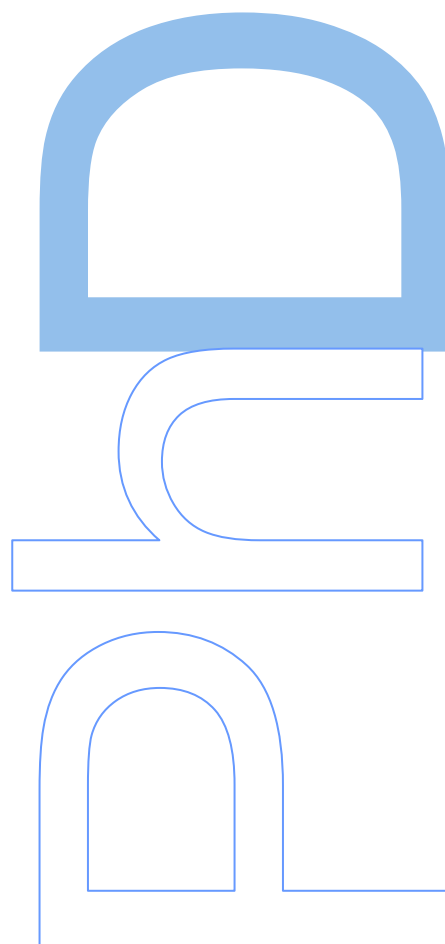
Promover o desenvolvimento do Raciocínio no Ensino das Ciências Naturais: o valor heurístico dos modelos e do V de Gowin

Marta Felismina Fontes de Pinho Ribeiro

Doutoramento em Ensino e Divulgação das Ciências
Especialidade em Ensino das Ciências
2018

Orientador

Clara Maria da Silva de Vasconcelos, Professora Auxiliar com Agregação, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto



Marta Felismina Fontes de Pinho Ribeiro

Promover o desenvolvimento do Raciocínio no
Ensino das Ciências Naturais:
o valor heurístico dos modelos e do V de Gowin



Unidade de Ensino das Ciências
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

2018

Ao David, João, Margarida e Miguel

Aos meus pais

Agradecimentos

Não posso começar este meu trabalho sem deixar um agradecimento a quem esteve sempre do meu lado neste caminho que começou bem antes da partida e tantas atribuições teve.

Em primeiro lugar, quero expressar o meu agradecimento ao Diretor da Faculdade de Ciências e ao Diretor do Programa Doutoral por terem permitido a inscrição, já fora de prazo, no referido curso. Sem isso, nunca teria partido para chegar à meta.

Aos professores do curso doutoral - Clara Vasconcelos, João Paiva e Paulo Simeão de Carvalho - que foram sempre dedicados, compreensivos e presentes. Pelo ensino de conhecimentos e atitudes. Em especial, à Professora Doutora Clara Vasconcelos a quem muito agradeço o ter aceite o convite para a orientação da minha tese.

À minha orientadora, Professora Doutora Clara Vasconcelos, pela paciência e tempo disponibilizado, partilha do saber, mas sobretudo pela sua amizade sincera. Apoiou-me incessantemente em momentos controversos e dúbios sempre encorajando o término. Obrigada por ter cruzado meu caminho, pelas constantes manifestações de sabedoria e humildade. Sinto-me mais rica como professora, mas sobretudo como pessoa. Obrigada!

Ao Professor Doutor Paulo Fonseca pela sua disponibilidade e simplicidade na cedência dos conhecimentos sobre os modelos utilizados nesta investigação. O ensino da geologia necessita de professores assim, que amam o que fazem...e isso reflete-se nas ações.

Ao Professor Doutor Rui Dias, que tive o privilégio de ser sua aluna de licenciatura e sua orientanda de estágio e pelo qual ficou uma admiração e carinho enorme, pela partilha de conhecimento. Obrigada por ter arranjado um tempinho (na sua agenda superpreenchida), para me conceder uma entrevista e partilhar o seu saber. Obrigada por me ter transmitido o amor pela geologia e pelo seu ensino.

Aos professores e alunos que permitiram a validação e fidelidade dos documentos elaborados para a investigação, em especial ao Professor Doutor Luís Marques - meu orientador da dissertação de mestrado, há 14 anos, e por quem ficou uma estima e admiração muito grande.

Aos meus amigos, por nem sempre estar disponível para a partilha de bons momentos que tão bem sabem proporcionar.

À minha família. Sem o seu apoio não teria conseguido chegar ao fim.

Aos meus avós, António e Maria Rosa, que apesar de já não estarem fisicamente comigo, sempre incentivaram a formação e se orgulhavam de cada etapa conquistada na vida académica e na vida pessoal.

A ti, tia... desculpa não ter estado mais presente nos últimos tempos. Recordar-te-ei com saudade e obrigada por estares sempre em todos os momentos da minha vida. E este é mais um...

Ao Sérgio, pela elaboração do modelo e pela paciência na correção ortográfica no final da tese. Ao Toni e à Sofia por estarem sempre disponíveis ao longo deste caminho e terem permitido que ele se tornasse menos árduo.

Aos meus pais, Valdemar e Olívia, pelo amor, pela educação e valores que transmitiram e por sempre promoverem e incentivarem a formação académica. Por estarem presentes em cada dia, em cada etapa. Por me terem proporcionado ser professora e assim concretizar um dos meus sonhos. Mas sobretudo, pelas horas que passaram com os meus filhos para eu poder trabalhar. Por serem motoristas, cozinheiros, confidentes... e essencialmente avós presentes. Por serem quem são...

Ao David, meu amigo, meu confidente, meu marido. Por ter sido o primeiro a dizer sim. Inscreve-te! Por ter fragmentado as minhas angustias. Por ter vivido o caminho percorrido e estar onde era necessário para a remoção dos obstáculos. Por ter sido interveniente ativo nesta investigação, na elaboração dos documentos e na correção ortográfica. Pela paciência no momento final e compreensão na ausência. Simplesmente por estar presente e ser quem é. Grata por cada sorriso, por cada gesto carinhoso...

Ao melhor de mim, os meus filhos: o João, a Margarida e o Miguel, que foi uma bênção neste caminho. Desculpem o tempo que não tive para vós..., mas acredito que é preciso perder para depois se ganhar. Espero que um dia sintam que o melhor caminho é o do amor, da educação e da perseverança. Nunca queiram o mínimo e na estrada da vida aprendam sempre mais e mais.

A todos vós, o meu muito obrigado!

Resumo

Tendo como base as metas curriculares em vigor, para a disciplina de ciências naturais do 7º ano de escolaridade, desenvolveu-se um estudo de investigação recorrendo-se ao ensino baseado em modelos. Com este trabalho pretendeu-se investigar se através do uso de modelos e do V de Gowin se potencia o desenvolvimento do Raciocínio (raciocínio científico, raciocínio por analogia e raciocínio histórico e interpretativo) no ensino das ciências naturais, em particular da geologia. Para tal, implementou-se um programa de investigação, que foi aplicado a uma amostra de 104 alunos de escolas do norte de Portugal, em duas temáticas da geologia. Na primeira, “compreender os fundamentos da estrutura e dinâmica da terra”, recorreu-se à modelação dos Himalaias para explicar a formação de cadeias montanhosas relacionadas com a convergência de placas tectónicas. Na segunda temática, “dobras e cavalgamentos”, efetuou-se a modelação de falhas e dobras.

A justificação do recurso à modelação prende-se com o facto de os geólogos trabalharem com escalas temporais e espaciais de grandes dimensões, pelo que a sua reprodução em laboratório se torna difícil. Mas foi já desde o séc. XVIII, com James Hall, que a geologia começou a recorrer à modelação. Além do trabalho de campo, o recurso à modelação é bastante usado pelos geólogos, apesar da dificuldade inerente a uma geologia de cariz laboratorial, devido às escalas com que opera. Assim, há a necessidade de recorrer a um raciocínio científico, um raciocínio por analogia e a um raciocínio histórico e interpretativo por forma a conseguirem explicar-se os diversos fenómenos/processos que ocorrem no sistema Terra. O uso de modelos no ensino, assim como o recurso ao V de Gowin, contribuiu para desenvolver esse Raciocínio e demonstrar a riqueza heurística da construção do conhecimento científico.

A investigação realizada apoiou-se numa combinação de métodos suportada inicialmente no quantitativo e posteriormente no qualitativo, e em diversas técnicas e instrumentos de recolha de dados. Os resultados, do estudo quasi-experimental, revelaram ganhos ao nível do desenvolvimento dos raciocínios científico, por analogia e histórico interpretativo, embora com diferentes níveis de sucesso. De acordo com a modelação proposta os grupos experimentais, quer da professora-investigadora quer do professor-colaborador, obtiveram ganhos significativos em ambas as partes do Programa de Intervenção (P.I.), sobre a modelação dos Himalaias e sobre a modelação de falhas e dobras. Apesar de os grupos de controlo também evidenciarem melhorias, estas foram menos acentuadas que nos grupos experimentais.

Os resultados obtidos com o método quantitativo foram corroborados pelos resultados obtidos qualitativamente. Com a análise dos V de Gowin dos grupos experimentais constatou-se o domínio de alguns processos científicos e capacidades investigativas, junto dos participantes. Foram, também, realizados questionários e entrevistas focais aos grupos experimentais cujos resultados reforçaram que um ensino baseado na modelação é mais dinâmico e facilitador das aprendizagens do que os métodos tradicionais baseados na exposição e apoiados em leituras do manual escolar.

Palavras-chave: história da geologia, métodos de investigação geológica, modelos para o ensino, V de Gowin, ensino baseada em modelos, modelação, raciocínio científico, raciocínio por analogia, raciocínio histórico e interpretativo, ensino da geologia.

Abstract

An research study supported on model teaching was undertaken bearing in mind the present curriculum for 7th grade natural sciences students. It was aimed to research if the development of reasoning (scientific, analogical, historical and interpretative) is potentiated in the natural sciences teaching, namely Geology, through the use of models and the V of Gowin. Therefore, an intervention program was applied to a sample of 104 students from schools in the north of Portugal in two Geology contents. In the first - "Understanding the basics of the structure and dynamics of the Earth" – the Himalayas modeling was used to explain the formation of mountain range related to the convergence of tectonic plates. In the second - "Folds and rides" - the modeling of faults and bends was made.

It is necessary to use modeling as geologists work with temporal and spatial scales of big dimensions which are difficult to be reproduced in laboratory. Since the 18th century, with James Hall models, that Geology relies on modeling. Despite the difficulty inherent to a laboratorial geology due to the scales with which it operates. Thus, there is a need to appeal to scientific, analogical, historical and interpretative reasoning to explain the several phenomena / processes that occur in the Earth system. The use of modeling in teaching as well as the use of the V of Gowin have contributed to develop reasoning and show the heuristic wealth in constructing the scientific knowledge.

It was done a mixed method research, first qualitative and then quantitative, and in many techniques and instruments of data recollection were used. Though with different levels of success, the results of the quasi-experimental study revealed gains in the development of the scientific, analogical, historical and interpretative reasoning. The experimental groups, whether those of the teacher-researcher or the ones from the collaborator teacher-researcher, obtained significant gains in both parts of the Intervention Program (I.P.) about the Himalayas modeling and the faults and bends modeling. Although the control groups also showed improvements, these were less evident than in the experimental groups.

The results obtained with the quantitative method were corroborated by the ones obtained with the qualitative method. From the analysis of the V of Gowin of the experimental groups it was concluded that some scientific processes and investigating ability were acquired by the participants. The results of the questionnaires and focal interviews applied to the experimental groups have showed that a teaching based on modeling is more dynamic and learning facilitating than the traditional methods centered

on exposition and supported by school textbook reading. The results obtained with this convenience sample are indicators of how this type of middle students engaged with model-based teaching can improved school success due this particular methodology.

Keywords: geology history, geological investigation methods, models for teaching, V of Gowin, modeling-based teaching, modeling, scientific, analogical, historical and interpretative reasoning, geology teaching.

Índice

Agradecimentos.....	IX
Resumo.....	XI
Abstract.....	XIII
Índice.....	XV
Índice de figuras.....	XXIII
Índice de quadros.....	XXXIII
Lista de abreviaturas.....	XXXIX

INTRODUÇÃO

1. Contextualização da investigação.....	41
2. Problema de investigação.....	44
3. Organização do trabalho.....	45

CAPÍTULO I: Breve abordagem histórica sobre a Geologia

I.1 Introdução.....	49
I.2 Emergência da geologia como ciência.....	49
I.2.1 Neptunismo <i>versus</i> Plutonismo.....	55

I.2.2 Uniformitarismo <i>versus</i> Catastrofismo.....	59
I.3 Geologia causal <i>versus</i> geologia histórica.....	61
I.4 A geologia como ciência histórica e hermenêutica	65
1.5 A geologia e o seu ensino	67
 CAPÍTULO II: Modelos e o desenvolvimento do Raciocínio	
II.1 Introdução.....	71
II.2 A evolução histórica dos modelos em geologia.....	71
II.3 A importância dos modelos no ensino da geologia.....	113
II.3.1 Tipos de modelos para o ensino.....	115
II.3.2 Raciocínio e o ensino baseado em modelos.....	119
 CAPÍTULO III: Metas curriculares de Ciências Naturais (componente de geologia)	
III.1 Introdução.....	123
III.2 Deriva dos continentes e tectónica de placas.....	123
III.2.1 Formação de cordilheiras montanhosas: o caso dos Himalaias.....	142
III.3 Deformação das rochas.....	144
III.3.1 Formação de dobras.....	146
III.3.2 Formação de falhas.....	147

CAPÍTULO IV: Fundamentação Educacional e Programa de Intervenção

IV.1 Introdução.....	149
IV.2 O ensino da geologia baseado em modelos.....	150
IV.3 O V heurístico de Gowin.....	152
IV.4 Construção do modelo da formação de montanhas: o caso dos Himalaias.....	154
IV.5 Construção do modelo da formação de dobras e falhas.....	157
IV.6 Programa de Intervenção.....	159
PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	164
PI – Formação de falhas e dobras.....	172

CAPÍTULO V: Metodologia de Investigação

V.1 Introdução.....	181
V.2 Combinação de métodos	181
V.3 Amostra.....	182
V.4 Instrumentos de investigação.....	184
V.4.1 Validação e fidelidade do teste.....	184
V.4.2 Elaboração e validação dos Vês de Gowin.....	187
V.4.3 Elaboração e validação dos questionários e das entrevistas focais.....	187

V.5 Professor-investigador.....	188
---------------------------------	-----

CAPÍTULO VI: Apresentação dos resultados e discussão

VI.1 Introdução	191
VI.2 Estudo quasi-experimental tendo por base os resultados globais do teste.....	191
VI.2.1 Estudo quasi-experimental com a professora-investigadora....	192
VI.2.1.1 A modelação dos Himalaias.....	192
VI.2.1.2 A modelação de falhas e dobras.....	196
VI.2.2 Estudo quasi-experimental com o professor-colaborador.....	201
VI.2.2.1. A modelação dos Himalaias.....	201
VI.2.2.2 A modelação de falhas e dobras.....	205
VI.3 Estudo quasi-experimental tendo por base os resultados sobre os diferentes tipos de raciocínio.....	208
VI.3.1 Estudo quasi-experimental com a professora-investigadora.....	215
VI.3.1.1 A modelação dos Himalaias.....	215
VI.3.1.1.1 Raciocínio por analogia.....	215
VI.3.1.1.2 Raciocínio científico.....	219
VI.3.1.1.3 Raciocínio histórico e interpretativo.....	223
VI.3.1.2 A modelação de falhas e dobras.....	228

VI.3.1.2.1 Raciocínio por analogia.....	228
VI.3.1.2.2 Raciocínio científico.....	233
VI.3.1.2.3 Raciocínio interpretativo e histórico.....	237
VI.3.2 Estudo quasi-experimental com o professor-colaborador.....	242
VI.3.2.1 A modelação dos Himalaias.....	242
VI.3.2.1.1 Raciocínio por analogia.....	242
VI.3.2.1.2 Raciocínio científico.....	245
VI.3.2.1.3 Raciocínio interpretativo e histórico.....	249
VI.3.2.2 A modelação de falhas e dobras.....	252
VI.3.2.2.1 Raciocínio por analogia.....	252
VI.3.2.2.2 Raciocínio científico.....	256
VI.3.2.2.3 Raciocínio interpretativo e histórico.....	259
VI.4 Análise dos Vês de Gowin.....	262
VI.4.1. Professora-investigadora.....	263
VI.4.1.1 A modelação dos Himalaias.....	263
VI.4.1.2 A modelação de falhas e dobras.....	264
VI.4.2 Professor-colaborador.....	264

VI.4.2.1 A modelação dos Himalaias.....	265
VI.4.2.2 A modelação de falhas e dobras.....	265
VI.5 Análise dos questionários.....	266
VI.5.1. Professora-investigadora.....	266
VI.5.1.1 A modelação dos Himalaias.....	267
VI.5.1.2 A modelação de falhas e dobras.....	268
VI.5.2. Professor-colaborador.....	268
VI.5.2.1 A modelação dos Himalaias.....	269
VI.5.2.2 A modelação de falhas e dobras.....	270
VI.6 Análise das entrevistas focais.....	271
VI.6.1 Professora-investigadora.....	272
VI.6.2 Professor-colaborador.....	273
 CONCLUSÕES	
1. Conclusões do programa de intervenção.....	275
2. Contributo da componente empírica.....	278
3. Limitações do estudo e perspetivas para futuros estudos	279
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 281

APÊNDICES

Apêndice I - Transcrição da entrevista ao professor doutor Rui Dias.....	307
Apêndice II – Teste sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, com a respetiva proposta de correção.....	319
Apêndice III – Grelha do tipo de raciocínio que se pretende avaliar com o teste sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	327
Apêndice IV – Instruções de montagem do modelo físico para o ensino sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	331
Apêndice V – Mapa de conceitos elaborado pelos alunos de um grupo experimental da amostra da professora-investigadora (n_1).....	333
Apêndice VI – Grelhas de classificação do pré-teste, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	335
Apêndice VII – Grelhas de classificação do pré-teste, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	339
Apêndice VIII – Grelhas de classificação do pós-teste, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	343
Apêndice IX – Grelhas de classificação do pós-teste, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	347
Apêndice X – Grelhas de classificação dos Vês de Gowin, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias	351
Apêndice XI – Grelha de classificação dos Vês de Gowin, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	355

Apêndice XII – Teste sobre a formação de falhas e dobras, com a respetiva proposta de correção.....	357
Apêndice XIII – Grelha do tipo de raciocínio que se pretende avaliar com o teste sobre a formação de falhas e dobras.....	361
Apêndice XIV – Instruções de montagem do modelo físico para o ensino sobre a formação de falhas e dobras.....	365
Apêndice XV – Grelhas de classificação do pré-teste, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de falhas e dobras.....	367
Apêndice XVI – Grelhas de classificação do pré-teste, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de falhas e dobras.....	371
Apêndice XVII – Grelhas de classificação do pós-teste, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de falhas e dobras.....	375
Apêndice XVIII – Grelhas de classificação do pós-teste, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de falhas e dobras.....	379
Apêndice XIX – Grelhas de classificação dos Vês de Gowin, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de falhas e dobras.....	383
Apêndice XX– Grelha de classificação dos Vês de Gowin, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de falhas e dobras.....	387
Apêndice XXI– Questionário.....	389
Apêndice XXII– Questões de orientação para entrevista focal.....	391
Apêndice XXIII – Entrevista focal dirigida pela professora-investigadora no grupo 2 (experimental), amostra n_1	393
Apêndice XXIV – Entrevista focal dirigida pelo professor-colaborador no grupo 2 (experimental), amostra n_2	407

Lista de Figuras

Fig. I.1. Johannes van Helmont (1580-1644).	50
Fig. I.2. Paracelso (1493-1541).	50
Fig. I.3. René Descartes (1596-1650).	50
Fig. I.4. Robert Hooke (1635-1703).	51
Fig. I.5. Robert Boyle (1627-1691).	51
Fig. I.6. Nicolaus Steno (1638-1686).	51
Fig. I.7. Thomas Burnet (1635-1715).	51
Fig. I.8. <i>Telluris Theoria Sacra</i>	52
Fig. I.9. O interior da Terra segundo Woodward.....	53
Fig. I.10. Georges Buffon (1707-1788).	53
Fig. I.11. James Hutton (1726-1797).	55
Fig. I.12. Abraham Werner (1749-1817).	57
Fig. I.13. Charles Lyell (1797-1875).	59
Fig. I.14. William Buckland (1784-1808).	60
Fig. I.15. Louis Agassiz (1807-1873).	60

Fig. II.1. Georges Zbysewski, 1909-1999.	72
Fig. II.2. Fotografia de dois resultados obtidos por Georges Zbysewski, com os seus modelos análogos.....	72
Fig. II.3. Referência a alguns investigadores que desenvolveram a modelação em geologia.	73
Fig. II.4. James Hall (1761-1832).	74
Fig. II.5 A e B- Primeiros modelos construídos por James Hall. C- Modelo de simulação construído por James Hall com uso de argilas para simulação dos estratos.	75
Fig. II.6. Dobras resultantes do modelo de Hall.	76
Fig. II.7. Alphonse Favre (1815-1890).	76
Fig.II.8. Modelo de Favre para a simulação da formação de dobras.....	77
Fig. II.9. Modelo construído por Alphonse Favre.	77
Fig. II.10. Representação da estrutura geológica que se forma quando é exercida pressão sobre estratos terrestres humedecidos, depositados no fundo do mar, entre duas montanhas já solidificadas.	78
Fig. II.11. Auguste Daubrée (1814-1896).	79
Fig. II.12. Caixa de compressão de Auguste Daubrée. A compressão de placas de metal produz dobras simétricas simples.	80
Fig. II.13. Caixa de compressão de Auguste Daubrée. Diferentes orientações das placas de metal produzem dobras assimétricas.	80
Fig. II. 14. Resultados obtidos por Auguste Daubrée.	80
Fig. II.15. Modelo desenvolvido por Friedrich Pfaff.	81
Fig. II.16. Movimento da argila e do papel machê quando se movimenta o parafuso que se encontra no lado direito.....	81

Fig. II.17. Formação das dobras originadas por compressão.....	82
Fig. II.18. Philipp Forchheimer (1852-1933).	82
Fig. II.19. Hans Schardt (1858-1931).	83
Fig. II.20. Esboço original da dissertação de Hans Schardt, Etudes sur le Geologiques Pays-d'Enhaut valdenses, em 1884	83
Fig. II.21. Resultados da modelação apresentados na dissertação de Hans Schardt, Etudes sur le Geologiques Pays-d'Enhaut valdenses, em 1884.....	84
Fig. II.22. Thomas Mellard Reade (1832-1909).	84
Fig. II.23. Compressor circular de Thomas Reade, elaborado para simular os efeitos da contração.	85
Fig. II.24. Representação de uma série de estratos de rocha (20 no total) expandidos, sujeitos a uma temperatura constante ao longo de todo o modelo.	86
Fig. II.25. Ilustração da experiência realizada sobre o movimento das rochas dispostas em estratos, por aplicação de variadas intensidades de pressão lateral.	86
Fig. II.26. Henry Cadell (1860-1934).	87
Fig. II.27. Fotografia de Cadell (1888) demonstrando o seu modelo, usado para deformar camadas de argila, e assim compreender a formação de estruturas de compressão.	88
Fig. II.28. Resultados da modelação desenvolvida por Cadell.....	90
Fig. II.29. Representação esquemática dos resultados obtidos por Cadell na experiência anterior.	90
Fig. II.30. Bailey Willis (1857-1949).	91
Fig. II.31. Modelo de B. Willis.....	93
Fig. II.32. Ilustração das deformações obtidas com o modelo experimental de B. Willis.	94

Fig. II.33. Stanislas Meunier (1843-1925).	95
Fig. II.34. Primeiro modelo para estudar as dobras de Stanislas Meunier.....	96
Fig. II.35. Dobras obtidas pelo modelo se existir uniformidade de pressão ao longo do aparelho.	97
Fig. II.36. Dobras obtidas pelo modelo se não existir uniformidade de pressão ao longo do aparelho.	97
Fig. II.37. Aparelho, utilizado por A. Favre (1878), para a formação de dobras pela contração da borracha distendida.	98
Fig. II.38. Wilhelm Paulcke (1873-1949).	99
Fig. II.39. Modelo de Paulcke.	99
Fig. II.40. Resultados obtidos por Paulcke.	100
Fig. II.41. Albert Heim (1849-1937).	101
Fig. II.42. King Hubbert (1903-1989).	102
Fig. II.43. A- prensa construída por Hubbert; B- prensa utilizada no CCVEstremoz.	103
Fig. II.44. Simulação de falhas inversas na prensa construída por Hubbert...	104
Fig. II.45. Simulação de falhas normais na prensa construída por Hubbert....	104
Fig. II.46. Hans Cloos (1885-1951).....	105
Fig. II.47. Representação tridimensional de uma dobra de Altenburg realizada por Hans Cloos (1950).	106
Fig. II.48. Representação do modelo da “caixa de areia” de Malavieille.....	108
Fig. II.49. Resultado da compressão dos estratos de argila colorida.....	108

Fig. II.50. Secção interpretativa de Taiwan inspirada num modelo analógico.....	109
Fig. II.51. Modelo experimental: dispositivo de deformação, sistema de simulação de chuvas, banco ótico de medição, câmaras acopladas a um interferómetro laser.	110
Fig. II.52. Esquema do modelo usado para modelação analógica de zonas de subducção axiais.	112
Fig. II.53. (a) Modelo de simulação da estrutura de uma margem continental sem erosão; (b) o mesmo modelo com erosão e sedimentação sintectónica, aplicada aos Alpes e (c) secção geológica dos Alpes suíços, nos dias de hoje.	113
Fig. III.1: Alfred Wegener (1880-1930).	124
Fig. III.2: Eduard Suess (1831-1914).	124
Fig. III.3 - Reconstrução do mapa mundo de acordo a teoria da deriva dos continentes.	126
Fig. III.4 – Localização de depósitos do mesmo tipo de rochas.....	127
Fig. III.5 – Localização atual dos fósseis e indicadores paleoclimáticos do Permocarbonífero. As pontes de terra eram necessárias para justificar a existência de fósseis semelhantes em continentes distantes.....	128
Fig. III.6 – Distribuição da glaciação Permocarbonífera. As setas indicam a direção do movimento do gelo.	129
Fig. III.7 – Mapa realizado por Alexandre Du Toit.	132
Fig. III.8 – Foto do Glomar Challenger. Primeiro navio de investigação especificamente concebido na década de 1960 com o objetivo de perfurar e adquirir amostras do fundo do oceano.	133
Fig. III.9 – Navio Chikyu.	134
Fig. III.10 – Representação das bandas magnéticas do fundo oceânico.....	135
Fig. III.11 – Representação das principais placas tectónicas a nível mundial.....	136

Fig. III.12 – (a) Representação da colisão de uma placa oceânica com uma placa continental.	137
Fig. III.13 – Representação da obducção da zona de Omán.....	137
Fig. III.14 – (b) Representação da colisão de uma placa oceânica com uma placa oceânica.	138
Fig. III.15 – Representação dos limites de placas no Pacífico, tal como existem hoje, na convergência de duas placas oceânicas.	138
Fig. III.16 – (c) Representação da colisão de uma placa continental com uma placa continental.	139
Fig. III.17 – (a) Zona de rifte e dorsal médio oceânica Atlântica. (b) Início da formação de um rifte em placas continentais (intracontinental) originando a sua separação.	140
Fig. III.18 – Representação de limites divergentes nos fundos oceânicos com a formação de falhas transformantes.	141
Fig. III.19 – Representação do movimento do cratão indiano entre os 80 e 10 milhões de anos atrás.	142
Fig. III.20 – Representação da colisão da placa continental com placa continental.	143
Fig. III.21 – Representação simplificada da orogenia dos Himalaias. (a) Subducção da placa Indiana sob a placa Euroasiática; (b) Colisão do subcontinente indiano com o Tibete; (c) Cavalgamento da placa Indiana sobre o planalto do Tibete.	144
Fig. III.22 – Representação da deformação das rochas quando sujeitas a diferentes forças tectónicas.	145
Fig. III.23 – Representação dos elementos geométricos de uma rocha.....	146
Fig. III.24 – Representação de dobras a) simétricas; b) assimétricas e c) tombadas.	147
Fig. III.25 – Representação de uma falha normal.	148
Fig. III.26 – Representação de uma falha inversa.	148
Fig. III.27 – Representação de uma falha oblíqua.	148

Fig. IV.1. V epistemológico de Gowin utilizado na concretização das atividades propostas neste trabalho.	152
Fig. IV.2. Modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.	154
Fig. IV.3. Esquema representativo do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.	155
Fig. IV.4. Imagem da montagem inicial da atividade do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	155
Fig. IV.5. Imagem da montagem da atividade do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	156
Fig. IV.6. Imagem da montagem da atividade do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	156
Fig. IV.7. Imagem final da atividade do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	157
Fig. IV.8. Modelo utilizado para a simulação de formação de dobras e falhas.....	158
Fig. IV.9. Esquema representativo do modelo utilizado para a simulação de formação de dobras e falhas.....	158
Fig. IV.10. Montagem do modelo para a simulação de dobras e falhas.....	159
Fig. IV.11. Pré-teste sobre a formação de montanhas: o caso dos Himalaias realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora.	165
Fig. IV.12. Pré-teste sobre a formação de montanhas: o caso dos Himalaias realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra do professor-colaborador.	165
Fig. IV.13. Mapa de conceitos elaborado pelo grupo 1 experimental da amostra da amostra.	167
Fig. IV.14. Montagem do aparato experimental utilizado em PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, por um grupo de alunos.....	168
Fig. IV.15. V de Gowin de referência na temática Compreender os fundamentos da estrutura e dinâmica da Terra.....	169
Fig. IV.16. Pós-teste sobre a formação de montanhas: o caso dos Himalaias realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora.	171

Fig. IV.17. Pós-teste sobre a formação de montanhas: o caso dos Himalaias realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra do professor-colaborador.	172
Fig. IV.18. Pré-teste sobre a formação falhas e dobras realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora.....	173
Fig. IV.19. Pré-teste sobre a formação falhas e dobras realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra do professor-colaborador.....	174
Fig. IV.20 a, b e c. Ilustração do aparato experimental utilizado no PI sobre a formação de falhas e dobras.	176
Fig. IV.21. Exemplo de um V de Gowin realizado por um aluno para descrever a atividade experimental realizada durante o PI da formação de falhas e dobras.....	177
Fig. IV.22. V de Gowin de referência na temática Dobras e cavalgamentos.....	178
Fig. IV.23. Pós-teste sobre a formação falhas e dobras realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora.....	179
Fig. IV.24. Pós-teste sobre a formação falhas e dobras realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra do professor-colaborador.....	180
Fig. VI.1. Efeito interativo relativo às médias obtidas no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.....	196
Fig. VI.2. Efeito interativo relativo às médias obtidas no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.....	200
Fig. VI.3 Efeito interativo relativo às médias obtidas no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.....	204
Fig. VI.4 Efeito interativo relativo às médias obtidas no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo...	208
Fig. VI.5 Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio por analogia no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.....	219
Fig. VI.6 Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio científico no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.....	223
Fig. VI.7 Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo..	238

Fig. VI.8 Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio por analogia no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.....	232
Fig. VI.9 Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio científico no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.....	237
Fig. VI.10. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.....	241
Fig. VI.11. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio por analogia no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.....	245
Fig. VI.12. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio científico no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.....	248
Fig. VI.13. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.....	252
Fig. VI.14. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio por analogia no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.....	255
Fig. VI.15. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio científico no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.....	259
Fig. VI.16. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.....	262

Lista de Quadros

	página
Quadro 1.1. Esquema estratigráfico proposto por Werner para toda a Terra...	58
Quadro 2.1. Algumas diferenças entre os modelos científicos e os modelos para o ensino simplificados presentes com frequência nos livros escolares.....	116
Quadro 4.1. Planificação do PI: simulação da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.....	162
Quadro 4.2. Planificação do PI: simulação da formação de dobras e falhas..	163
Quadro 5.1. Caracterização da amostra da professora-investigadora ($n_1=59$).	183
Quadro 5.2. Caracterização da amostra do professor-colaborador ($n_2=45$)...	183
Quadro 5.3. Tabela dos tipos de raciocínio avaliados em cada questão do teste sobre a temática formação das cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.	185
Quadro 5.4. Tabela dos tipos de raciocínio avaliados em cada questão do teste sobre falhas e dobras.	185
Quadro 6.1. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).....	192
Quadro 6.2. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra (n_1).	193
Quadro 6.3. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).....	194
Quadro 6.4. Resumo da análise dos resultados obtidos utilizando o modelo da formação dos Himalaias ($n_1=59$).....	195
Quadro 6.5. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).....	196
Quadro 6.6. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra (n_1).	198

Quadro 6.7. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).....	199
Quadro 6.8. Resumo da análise dos resultados obtidos utilizando o modelo da formação de dobras e falhas ($n_1=59$).....	199
Quadro 6.9. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).....	201
Quadro 6.10. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).....	202
Quadro 6.11. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).....	203
Quadro 6.12. Resumo da análise dos resultados obtidos utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$).....	203
Quadro 6.13. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).....	205
Quadro 6.14. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).....	206
Quadro 6.15. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).....	206
Quadro 6.16. Resumo da análise dos resultados obtidos utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_2=45$).....	207
Quadro 6.17. Questões do teste sobre a formação dos Himalaias que avaliam o raciocínio por analogia.	210
Quadro 6.18. Questões do teste sobre a formação dos Himalaias que avaliam o raciocínio científico.	211
Quadro 6.19. Questões do teste sobre a formação dos Himalaias que avaliam o raciocínio histórico e interpretativo.....	212
Quadro 6.20. Questões do teste sobre a formação de falhas e dobras que avaliam o raciocínio por analogia.	213
Quadro 6.21. Questões do teste sobre a formação de falhas e dobras que avaliam o raciocínio científico.	213

Quadro 6.22. Questões do teste sobre a formação de falhas e dobras que avaliam o raciocínio interpretativo e histórico.....	214
Quadro 6.23. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).....	215
Quadro 6.24. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).....	216
Quadro 6.25. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).....	217
Quadro 6.26. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio por analogia, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$).....	218
Quadro 6.27. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra (($n_1=59$)).....	219
Quadro 6.28. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).....	221
Quadro 6.29. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).....	221
Quadro 6.30. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio científico, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$).....	222
Quadro 6.31. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).....	224
Quadro 6.32. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).....	225
Quadro 6.33. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).....	226
Quadro 6.34. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio histórico e interpretativo, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$).....	227
Quadro 6.35. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).....	229
Quadro 6.36. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).....	230

Quadro 6.37. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).....	230
Quadro 6.38. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio por analogia, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_1=59$).....	231
Quadro 6.39. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).....	233
Quadro 6.40. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).....	234
Quadro 6.41. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).....	235
Quadro 6.42. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio científico, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_1=59$).....	236
Quadro 6.43. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).....	238
Quadro 6.44. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).....	239
Quadro 6.45. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).....	239
Quadro 6.46. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio histórico e interpretativo, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_1=59$).....	240
Quadro 6.47. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).....	242
Quadro 6.48. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).....	243
Quadro 6.49. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).....	244
Quadro 6.50. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio por analogia, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$).....	244
Quadro 6.51. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).....	246

Quadro 6.52. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).....	246
Quadro 6.53. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).....	247
Quadro 6.54. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio científico, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$).....	249
Quadro 6.55. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).....	249
Quadro 6.56. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).....	250
Quadro 6.57. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).....	250
Quadro 6.58. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio histórico e interpretativo, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$).....	251
Quadro 6.59. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).....	253
Quadro 6.60. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).....	253
Quadro 6.61. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).....	254
Quadro 6.62. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio por analogia, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_2=45$).....	255
Quadro 6.63. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).....	256
Quadro 6.64. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).....	257
Quadro 6.65. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).....	257
Quadro 6.66. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio científico, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_2=45$).....	258

Quadro 6.67. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).....	259
Quadro 6.68. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).....	260
Quadro 6.69. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).....	261
Quadro 6.70. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio histórico e interpretativo, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_2=45$).....	261
Quadro 6.71. Classes de distribuição das menções quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin relativos à modelação da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=38$).....	264
Quadro 6.72. Classes de distribuição das menções quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin relativos à modelação da formação de falhas e dobras ($n_1=38$).....	264
Quadro 6.73. Classes de distribuição das menções quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin relativos à modelação da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=21$).....	265
Quadro 6.74. Classes de distribuição das menções quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin relativos à modelação da formação de falhas e dobras ($n_2=21$).....	265
Quadro 6.75. Valores de estatística descritiva obtidos no questionário passado aos alunos na parte do PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.	267
Quadro 6.76. Valores de estatística descritiva obtidos no questionário passado aos alunos na parte do PI sobre a formação de falhas e dobras.....	269
Quadro 6.77. Valores de estatística descritiva obtidos no questionário passado aos alunos na parte do PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.	269
Quadro 6.78. Valores de estatística descritiva obtidos no questionário passado aos alunos na parte do PI sobre a formação de falhas e dobras.....	270
Quadro 6.79. Categorização das respostas dadas na entrevista focal ($n_1=21$)	272
Quadro 6.80 Categorização das respostas dadas na entrevista focal ($n_1=21$).	273

Lista de Abreviaturas

CCVEstremoz	Centro Ciência Viva Estremoz.....	73
EUA	Estados Unidos da América.....	44
LabGExp	Laboratório de Geologia Experimental.	72
LATTEX	Laboratório de Tectonofísica e Tectónica Experimental.	72
PI	Programa de Intervenção	45
TC	Trabalho de Campo.....	67
TL	Trabalho Laboratorial.	67
TP	Trabalho Prático.....	67

Introdução

1. Contextualização da investigação

Ao longo da sua existência o ser humano tem questionado o seu mundo e o que o rodeia, procurando respostas para as suas inquietudes. O conhecimento científico é fundamental para compreender questões de índole ambiental, de escassez de recursos naturais e de desenvolvimento tecnológico. A escola, lugar privilegiado para os cidadãos aprenderem ciência, tem de apostar numa alfabetização no domínio da ciência e da tecnologia potenciando intervenções dinâmicas e mais enriquecedoras a nível da sociedade e do ambiente.

Em Portugal, a organização da educação escolar rege-se pela Lei n.º 46/86, de 14 de outubro: a designada Lei de Bases do Sistema Educativo. O nosso sistema educativo está categorizado em três níveis: básico, secundário e superior. Atualmente, o ensino básico tem a duração de 9 anos, é obrigatório, universal, gratuito e visa assegurar a educação base de todos os cidadãos, proporcionando a aquisição dos conhecimentos basilares que permitam o prosseguimento de estudos (n.º 1 do art.º 5º do Decreto-Lei n.º 139/2012, de 5 de julho). É dividido em três ciclos sequenciais: i) o primeiro ciclo, com a duração de quatro anos; ii) o segundo ciclo, com a duração de dois anos e iii) o terceiro ciclo, com a duração de três anos. As matrizes curriculares do ensino básico, que definem as áreas disciplinares e as disciplinas bem como as respetivas cargas horárias semanais mínimas estão aprovadas no Decreto-Lei n.º 139/2012, de 5 de julho. Refira-se o aumento da escolaridade obrigatória para os 18 anos de idade a partir 2009 (Lei n.º 85/2009).

Estando a escola portuguesa, envelhecida e pouco motivadora para os alunos do século XXI, assiste-se a um desinteresse destes nos conteúdos apresentados e no ensino promovido. Como refere Compiani (2011), a escola valoriza os conhecimentos historicamente construídos, mas de uma forma generalista sem que o espaço, o tempo e os processos geradores do conhecimento sejam considerados no ensino. Por exemplo, o ensino quase não trabalha o raciocínio histórico-comparativo (Compiani, 2011), tão necessário na compreensão dos processos geológicos. A escola depara-se com uma realidade redutora, que nem favorece a aprendizagem nem cativa os alunos para progressão dos estudos. Pais que não participam na vida escolar de seus filhos, precárias condições financeiras do agregado familiar bem como escassez de recursos por parte da escola para a realização de algumas atividades são fatores que levam à desmotivação e até mesmo alienação dos alunos. Como tal, cabe aos professores

tornar a escola mais aprazível e não ser apenas um mero meio de transmissão de conhecimentos, obtendo alunos mais motivados e participativos. Apesar de ainda se verificar vinculado um pensamento educativo muito tradicional, é inevitável rever “os currículos e as práticas letivas, sendo necessário adotar metodologias de ensino que promovam a mobilização de conhecimentos capazes de serem transferidos e aplicados em novas situações” (Ferreira, Alençao & Vasconcelos, 2015, p. 32).

A formação dos cidadãos em geral, e em particular a formação dada pelos professores de ciências, não pode ignorar a geologia, já que esta permite uma visão holística do nosso planeta. Nas últimas décadas, a geologia tem-se tornado cada vez mais relevante devido à escassez de recursos naturais, ao aumento da demografia populacional em determinadas zonas do nosso planeta, colocando em risco essas mesmas zonas, e à construção de obras de engenharia. A prospeção e exploração dos recursos energéticos e minérios requerem conhecimento geológico e, ao mesmo tempo, influencia o desenvolvimento político e económico do mundo. O custo das catástrofes naturais é elevado em zonas onde a densidade populacional é grande afeta enormemente a economia do país. Há presentemente a necessidade de encontrar novas fontes de energia para combater a escassez das que hoje são utilizadas pelo Homem, bem como compreender alguns fenómenos naturais como, por exemplo, os sismos, os vulcões e as avalanches. A geologia juntamente com outras ciências, por exemplo a física, a biologia e a química, tem contribuído para um melhor conhecimento do nosso planeta bem como do sistema solar e do universo. Justifica-se, assim a importância da geologia na literacia científica, na visão holística do nosso planeta e na preservação de um desenvolvimento sustentável.

Vários são os autores que referem as inúmeras vantagens da inclusão da geologia nos currículos escolares, mas esta encontra-se associada à biologia até ao final do 11º ano de escolaridade. Porém, há vantagens no seu ensino como disciplina autónoma, já que a geologia possui um forte sentido histórico e temporal, faz parte da vida do quotidiano do ser humano, relaciona-se com outros ramos do conhecimento e proporciona aos alunos competências que os tornam capazes de enfrentar e resolver problemas que necessitem de conhecimento. Tal como refere Sequeiros (1994), o ensino da geologia além de ser uma ferramenta poderosa para se utilizar na mudança de conceitos é um importante núcleo de conhecimentos sobre o nosso planeta e da nossa responsabilidade para com ele. O ensino da geologia tem “a capacidade para conduzir o ensino formal em vários ambientes de aprendizagem: a sala de aula, o

laboratório, as saídas (no campo, em museus, nas indústrias) e o computador” (Orion, 2001, p.100). Por outro lado, para aprender geologia é necessário ainda um contacto com a natureza, permitindo que os alunos desenvolvam atitudes, valores e Raciocínio de diferentes tipos.

O presente estudo insere-se na disciplina de ciências naturais do 7º ano de escolaridade e é pautado pelas metas curriculares para o 7º ano de escolaridade, homologadas pelo Despacho n.º 5122/2013, DR. Série-II, de 16 de abril, onde são valorizadas as atividades práticas. Estas, permitem que o aluno questione, observe e argumente, promovendo uma maior compreensão dos conteúdos. Várias são as atividades práticas propostas na literatura, nomeadamente, trabalho laboratorial, trabalho de campo, e a modelação é uma estratégia muitas vezes esquecida.

De acordo com os pressupostos suprarreferidos desenvolveu-se um estudo centrado no ensino baseado em modelos que utilizou a modelação, acompanhada da realização de Vês de Gowin, como estratégia didática. É de realçar que no ensino da geologia, em particular, a modelação é uma estratégia poderosa para se utilizar na mudança de conceitos, no desenvolvimento de uma aprendizagem significativa, através da promoção da reestruturação dos modelos mentais dos alunos (Vasconcelos & Gomes, 2014). Com o recurso à modelação os alunos podem erradicar concepções erróneas e aprender, nomeadamente, a observar, esquematizar, legendar e concluir. Processos investigativos que fazem parte do raciocínio científico, uma vez que são operações mentais que se devem aplicar numa investigação. Tal como referem Gilbert & Osborne (1980), o uso de modelos no ensino permite a aquisição e desenvolvimento de conhecimento, capacidades e atitudes. O recurso à modelação deve ser realizado com as devidas precauções para não ocorrer a construção de concepções alternativas. Pois, como referido, a geologia trabalha com variáveis como o tempo, o espaço e determinadas características reológicas dos materiais que apesar de permitirem que a modelação em sala de aula estabeleça analogias, esta quase nunca ela é análoga.

2. Problema e hipótese de investigação

Ao longo do século XX foram implementadas importantes reformas educacionais, nos Estados Unidos da América (EUA) e na Europa. Portugal não foi exceção nesta tentativa de tentar acompanhar os avanços tecnológicos e científicos. Emerge, assim, no século XXI a necessidade de um ensino das ciências renovado que permita o desenvolvimento de saberes e competências diversas, e promova o desenvolvimento do Raciocínio e dos processos investigativos.

Tendo por base as metas curriculares para a disciplina de ciências naturais do 7º ano de escolaridade, com implementação a partir do ano letivo de 2013-2014, desenvolveu-se um estudo, em duas temáticas da geologia: i) “compreender os fundamentos da estrutura e da dinâmica da Terra” e ii) “dobras e cavalgamentos”. A escolha destas temáticas prendeu-se essencialmente por a geologia ser uma ciência histórica e hermenêutica (Frodeman, 2014), tendo sido considerada logo nos seus primórdios como uma ciência de campo. Contudo, a partir da segunda metade do séc. XIX, James Hall (1761-1832) tornou a geologia uma ciência também com caráter laboratorial, ao recorrer a modelos experimentais. Outro ponto que pesou na escolha destas temáticas foi a necessidade, de o ensino da geologia potenciar o desenvolvimento de vários tipos de Raciocínio (raciocínio científico, raciocínio por analogia e raciocínio histórico e interpretativo).

Com base no mencionado, foi delineado o problema de investigação que consistiu em *verificar se o recurso à modelação no ensino das ciências naturais no 7º ano de escolaridade permite auxiliar os alunos a desenvolverem os raciocínios por analogia, científico, histórico e interpretativo.*

Tratou-se de um estudo que optou por uma combinação de métodos que se iniciou com um estudo quasi-experimental, no qual foram realizados testes não paramétricos para verificar a seguinte hipótese:

H0: O uso de modelos para o ensino das ciências naturais não interfere no desenvolvimento do Raciocínio dos alunos.

H1: O uso de modelos para o ensino das ciências naturais interfere no desenvolvimento do Raciocínio dos alunos.

Como objetivo último, pretende-se contribuir para o uso de modelos no ensino das ciências naturais (temáticas de geologia) que promovam nos alunos os raciocínios

científico, por analogia, histórico e interpretativo espelhando o Raciocínio usado pelos geólogos na investigação e auxiliando os alunos a reconstruírem os seus modelos mentais numa procura de maior consistência destes com os modelos científicos.

Nesse sentido, a investigação prosseguiu com a recolha de dados através do V de Gowin, questionários e entrevistas focais. Estes instrumentos foram alvo de análise qualitativa dos conteúdos e complementaram as informações recolhidas quantitativamente.

3. Organização do trabalho

O presente trabalho investigativo encontra-se organizado em seis capítulos. Os primeiros quatro dizem respeito ao enquadramento teórico da investigação, na qual é concebida uma clarificação de conceitos e do tipo de metodologia de ensino utilizada. Os últimos dois abordam o programa de intervenção (PI) e a discussão dos resultados obtidos. O trabalho é finalizado com uma conclusão que aborda os contributos da componente empírica, as limitações do estudo bem como, sugestões para futuros estudos de investigação.

O capítulo I faz uma breve abordagem histórica sobre a geologia. Este capítulo, aborda a emergência da geologia como ciência e algumas controvérsias científicas que estiveram na sua base, como o neptunismo *versus* plutonismo e o uniformitarismo *versus* catastrofismo. Este capítulo termina com uma exposição da geologia como ciência histórica e hermenêutica. Na medida em que, estuda sistemas e processos complexos quer a nível espacial quer a nível temporal. Recorde-se que ao ensinarmos geologia ambicionamos espelhar o trabalho científico do geólogo, que vai para além do trabalho de campo e abarca também o trabalho em laboratório usando modelos.

O capítulo II avança com os modelos em geologia e os diferentes raciocínios utilizados pelos geólogos, nomeadamente os raciocínios por analogia, científico, histórico e interpretativo.

Este capítulo começa com uma reflexão sobre a evolução histórica dos modelos em geologia usados em geologia no âmbito da tectónica. Posteriormente é mencionada

a importância dos modelos no ensino da geologia, os tipos de modelos para o ensino e ainda o Raciocínio e o ensino baseado em modelos. É também salientado que os modelos usados em sala de aula não são, em geral, considerados análogos devido quer às escalas temporais e espaciais quer à reologia dos materiais, pelo que se designam de modelos para o ensino. Não obstante, realça-se que os modelos para o ensino auxiliam o aluno a compreender o processo geológico em estudo por apresentarem similaridades com os processos reais. São modelos que têm como principais finalidades espelhar o raciocínio do geólogo e auxiliar na reconstrução concetual.

O capítulo III corresponde à clarificação dos conceitos relativos aos conteúdos científicos que são abordados nas metas curriculares de ciências naturais, para o 7º ano de escolaridade, implementadas no estudo. Esta clarificação teve como principal objetivo ensinar os alunos com o intuito de estes preencherem corretamente os testes e os Vês de Gowin. Assim, são abordados os conteúdos científicos relativos à deriva dos continentes e tectónica de placas, com especial ênfase para a formação de cordilheiras montanhosas, em particular os Himalaias e a formação de dobras e falhas (deformação das rochas).

O programa de intervenção, construção e operacionalização dos modelos e a metodologia de ensino utilizada, encontra-se traçado no capítulo IV. Este capítulo começa com uma breve referencia à modelação no ensino bem como à metodologia de ensino utilizada neste estudo. Também é descrita a construção de cada modelo (formação das cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias e o da formação de dobras e falhas), bem como a delineação das planificações didáticas e o programa de intervenção (PI). Como o PI foi traçado para dois conteúdos programáticos distintos ele foi subdividido em dois momentos: i) PI, correspondente à formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, para o qual foi construído o pré e pós-teste, o modelo e o V de Gowin e ii) PI, correspondente à formação de dobras e falhas, para o qual foi construído o pré e pós-teste, o modelo e o V de Gowin. O PI e os modelos construídos foram desenvolvidos e cientificamente sustentados nos capítulos anteriores.

É no capítulo V que a metodologia de investigação é abordada. Tendo sempre presente o problema e a finalidade da investigação delineou-se uma metodologia quasi-experimental. É, também, justificado o recurso a uma triangulação metodológica. Encontra-se aí a caracterização da amostra bem como os instrumentos de investigação.

Os instrumentos de investigação (pré e pós-teste) e Vês de Gowin, foram construídos com base nos conteúdos das metas curriculares, no problema de investigação (*verificar se o recurso à modelação no ensino das ciências naturais no 7º ano de escolaridade permite auxiliar os alunos a desenvolverem os raciocínios por analogia, científico, histórico e interpretativo*) e na finalidade da mesma (contribuir para o uso de modelos no ensino das ciências naturais (temáticas de geologia) que promovam nos alunos os raciocínios científico, por analogia, histórico e interpretativo espelhando o Raciocínio usado pelos geólogos na investigação e auxiliando os alunos a reconstruírem os seus modelos mentais numa procura de maior consistência destes com os modelos científicos). Posteriormente foram sujeitos a uma validade e fidelidade por parte de um painel de juízes. O quinto capítulo termina com uma descrição do que é ser professor-investigador, suas potencialidades e limitações.

No VI capítulo é executado o tratamento estatístico dos resultados obtidos no pré e pós-teste e nos Vês de Gowin bem como a sua análise. Neste capítulo também se encontra uma análise da análise de conteúdo relativa à avaliação feita pelos alunos no que se refere à metodologia de ensino utilizada. Encontra-se, ainda, a análise das entrevistas focais realizadas nos grupos experimentais.

Posteriormente às conclusões encontram-se os apêndices nos quais estão reunidos todos os documentos construídos e utilizados no estudo.

CAPÍTULO I: Breve abordagem histórica sobre a Geologia

I.1 Introdução

“...a ciência não é apenas uma única coisa, mas antes uma grande variedade de perspetivas e de técnicas de raciocínio, incluindo a dedução, vários tipos de indução, de abdução e de semiose e o raciocínio por analogia.”
(Frodeman, 2001, p.44).

A geologia ficou reconhecida como ciência no fim do século XVIII (Adams, 1938; Gohau, 1987; Laudan, 1987; Cervato & Frodeman, 2013). Foi a separação drástica da religião e a aquisição de um caráter empírico, baseada nos trabalhos de campo, que impulsionaram e facilitaram o desenvolvimento desta área científica (Cruz, 1998; Cervato & Frodeman, 2013). Sendo a geologia uma ciência hermenêutica (no sentido de que interpreta, por exemplo, os diferentes aspetos de um afloramento, atribuindo a relativa importância a cada aspeto) e histórica (porque a explicação histórica possui um papel importante no seu funcionamento) (Frodeman, 2001; Laudan, 1987), a História da Ciência (HC) é fundamental para o seu aperfeiçoamento. Através desta, podemos verificar que ao longo dos tempos existiram grandes debates/controvérsias científicas, como por exemplo, neptunismo vs plutonismo ou catastrofismo vs uniformitarismo. Estes demonstram que a ciência se constrói com debates e reflexões e permite, também, compreender os condicionantes e limites do marco racional da época em que esses debates surgiram.

I.2 Emergência da geologia como ciência

Desde a Pré-História que o Homem utilizou os recursos que a natureza abarca e, com a sedentarização, começou a questionar-se sobre determinados assuntos, nomeadamente sobre a criação do mundo. No entanto, até à revolução astronómica, provocada por Nicolau Copérnico (1473-1543) e Galileu Galilei (1564-1642), com a argumentação da teoria heliocêntrica, o Homem fazia especulações que pertenciam à cosmologia e não à geologia.

As origens da geologia terão ocorrido a partir da mineralogia do século XVII, a qual era subdividida em dois ramos, a mineralogia química, baseada na antiga teoria dos quatro elementos e desenvolvida por, entre outros, Johannes van Helmont (Fig. I.1)¹ e Paracelso (Fig. I.2)², e a mineralogia mecânica, que enfatizava a forma e o arranjo das partículas, desenvolvida por René Descartes (Fig. I.3)³, Robert Hooke, (Fig. I.4)⁴, Robert Boyle (Fig. I.5)⁵ e Nicolaus Steno (Fig. I.6)⁶. A escola mineralogista de espírito mecânico foi responsável pelas primeiras noções cosmogónicas, particularmente com Steno, ao defender que a sobreposição de camadas indica a idade relativa e, com Descartes, com o seu modelo de construção de montanha, descrito no seu livro “Princípios de Filosofia”, baseado nas fissuras e falhas da crosta terrestre (Laudan, 1987).



Fig. I.1. Johannes van Helmont¹ (1580-1644).



Fig. I.2. Paracelso² (1493-1541).



Fig. I.3. René Descartes³ (1596-1650).

¹ autor desconhecido (2001). Johann Baptista van Helmont. Disponível em URL: http://mattson.creighton.edu/History_Gas_Chemistry/vanHelmont.html, consultado em dezembro de 2015.

² Science Learning Hub (2012). Paracelsus (1493-1541). Disponível em URL: <http://www.sciencelearn.org.nz/Contexts/Toxins/Sci-Media/Images/Paracelsus-1493-1541>, consultado em dezembro de 2015.

³ A&E Television Networks, LLC (2016). René Descartes Biography. Disponível em URL: <http://www.biography.com/people/ren-descartes-37613>, consultado em janeiro de 2016.

⁴ JOC/EFR (2002). Robert Hooke. Disponível em URL: <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hooke.html>, consultado em dezembro de 2015.

⁵ Chemical Heritage Foundation (2010). Robert Boyle. Disponível em URL: <http://www.chemheritage.org/discover/online-resources/chemistry-in-history/themes/early-chemistry-and-gases/boyle.aspx>, consultado em dezembro de 2015.

⁶ Encyclopaedia Britannica, Inc. (2016a). Nicolaus Steno. Disponível em URL: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/565278/Nicolaus-Steno> consultado em janeiro de 2016.



Fig. I.4. Robert Hooke⁴ (1635-1703).



Fig. I.5. Robert Boyle⁵ (1627-1691)



Fig. I.6. Nicolaus Steno⁶ (1638-1686)

Na mesma linha de pensamento, Iannace (2011) refere que as observações, efetuadas por Steno, sobre os planos de estratificação nos arredores de Florença, Itália, contêm a descoberta fundamental de que a Terra tem uma história que pode ser decodificada através de uma nova forma de olhar as paisagens.

As primeiras teorias, sobre as características da superfície da Terra, foram baseadas no relato bíblico do dilúvio de Noé (Woolhead, 1999). Refira-se que em finais do século XVII e inícios do século XVIII, na Inglaterra, Thomas Burnet (Fig. I.7)⁷ e, um pouco mais tarde, John Woodward (1665-1728), herdeiro do pensamento de Steno, explicaram fenómenos geológicos, como a formação de montanhas e vales, irregularidades em estratos, e a existência de fósseis em locais que à partida não poderiam existir, através da ideia de um dilúvio universal (Woolhead, 1999). Estas ideias evidenciaram a coleção de fósseis observada como suporte da veracidade bíblica.



Fig. I.7. Thomas Burnet⁷ (1635-1715).

Para Thomas Burnet, a imagem da capa da sua obra, *Telluris Theoria Sacra* (Fig. I.8)⁸, resume a teoria da Terra por ele formulada. Em que, partindo de um postulado acerca do estado inicial da Terra deduziu todos os outros fenómenos, até à fase atual (Amador & Contenças, 2001). Por outras palavras, Segundo Amador e Contenças

⁷ Doug Stewart (2016). Thomas Burnet. Disponível em URL: <http://www.famousscientists.org/thomas-burnet>, consultado em fevereiro de 2016.

(2001), na teoria postulada por Burnet, identificam-se várias etapas do processo evolutivo da Terra:

- “a partir de um caos inicial, ter-se-ia formado um globo terrestre perfeito, constituído interiormente por uma série de camadas concêntricas;
- numa fase seguinte, as águas diluvianas teriam coberto o nosso planeta, deixando, ao retroceder, a crosta fragmentada, tal como é observada na atualidade;
- no futuro, a Terra, depois de ser consumida pelo fogo e após deposição das cinzas resultantes desse cataclismo, regressará à forma inicial, esférica e perfeita;
- por último, não sendo mais necessária para o Homem, a Terra transformar-se-á numa estrela” (p.87-88).



Fig. I.8. *Telluris Theoria Sacra* (Extraído de Doug Stewart⁸, 2016).

Segundo o modelo de Woodward (Fig. I.9), descrito na sua obra *Essay Toward a Natural History of the Earth* (1695), editada 15 anos após a morte de Steno, a Terra possuiria um aspeto semelhante ao atual, mas durante o dilúvio divino teria existido uma “dissolução” das rochas, ficando estas reduzidas a pequenas partículas em suspensão na água, com exceção das conchas e outros restos de seres vivos. Por ação da gravidade, essas partículas depositar-se-iam em camadas concêntricas, ficando aí vestígios de antigos seres vivos. Após a solidificação, os estratos foram fraturados e deslocados (Amador & Contencas, 2001).

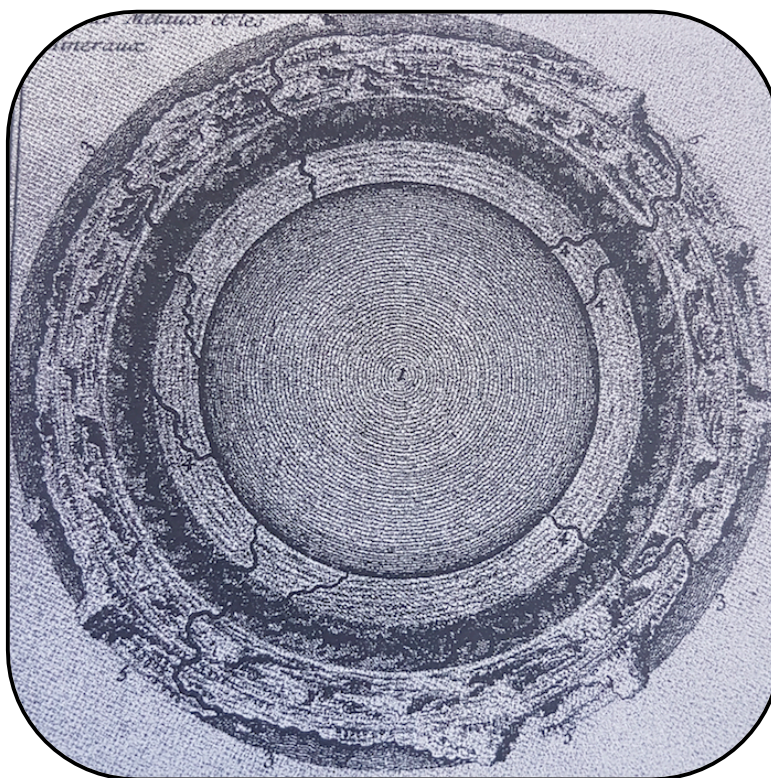


Fig. I.9. O interior da Terra segundo Woodward: 1 – grande abismo; 2- as diferentes camadas; 3 –superfície do mar; 4 – comunicações internas e 5 – superfície da Terra (Extraído de Deparis & Legros, 2000, p. 144).



Fig. I.10. Georges Buffon⁸ (1707-1788).

Cerca de 9 anos mais tarde, em 1749, Georges Buffon (Fig. I.10)⁸ sugeriu que a Terra não tinha sido criada em seis dias, mas sim, em sete épocas de desenvolvimento ao longo de um período de cerca de 75 mil anos (até então, com base na tese de que éramos descendentes de Adão, acreditava-se que a Terra teria cerca de 6 mil anos). Para tal, usou um cálculo elaborado por Sir Isaac Newton (1643-1727) que permitia estimar o arrefecimento dos cometas. Buffon utilizou como experiência o arrefecimento de um globo RedHot de ferro e extrapolou as suas descobertas para uma massa do tamanho da Terra, chegando a uma estimativa de

⁸ JOC/EFR (2004). Georges Louis Leclerc Comte de Buffon

Disponível em URL: <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Buffon.html>, consultado em dezembro de 2015.

que teria levado 74.832 anos para a Terra arrefecer até à temperatura atual (Woolhead, 1999).

Embora não se tenha referido ao catastrofismo, as épocas de Buffon incluíam eventos catastróficos tanto de fogo como de água. Na primeira época, a Terra ter-se-ia formado a partir de matéria projetada resultante da colisão de um cometa com o sol. Na segunda época, a Terra teria solidificado e a sua crosta enrugado formando as cadeias de montanhas. Na terceira época, os vapores condensados resultantes do arrefecimento da Terra, cobriram a Terra com um dilúvio. A quarta época começou após o arrefecimento, produzindo aberturas subterrâneas, causadas por uma onda de águas, terremotos e vulcões que produziam terras secas. Os animais terrestres e as plantas apareceram na quinta época, e os continentes separaram-se na sexta. Finalmente, escreveu Buffon, os seres humanos apareceram na sétima época (Woolhead, 1999).

Mas foi a Revolução Industrial (século XVIII) e o subsequente aumento do valor de certas matérias-primas, principalmente do ferro e do carvão, que contribuiu para que tivesse ocorrido avanços na tecnologia na exploração de minas e consequentemente uma evolução da mineralogia. Além disso, novas obras públicas, como estradas, ferrovias e canais de navegação, fizeram com que houvesse a necessidade de conhecer as características do subsolo e estabelecer uma cartografia geológica.

Como resultado, os primeiros trabalhos e escolas de geologia que apareceram foram nas regiões mais industriais, que, na época, estavam concentrados na Grã-Bretanha e na Europa Central (Virgili, 2007). De facto, é só no final do século XVIII, que o termo “*geologia*” começa a ser dedicado ao “conhecimento da Terra”. O termo geologia foi, efetivamente utilizado pela primeira vez pelo naturalista Jean-André Deluc (1727-1817) que declarou que “*o termo geologia seria melhor adaptado do que o de cosmologia para designar o conhecimento da terra*” (Gohau, 1987, p. 14). Em 1783 foi criada em Paris a Escola de Minas e, em 1793, com a fundação do Museu de Paris, foi criada a primeira cadeira em geologia. Em 1807, é fundada a Sociedade Geológica de Londres, e em 1830 a Sociedade Geológica da França (Gohau, 1987). Não obstante, a institucionalização da geologia, como ciência, foi impulsionada sobretudo pelo caráter empírico, alicerçado nos trabalhos de campo (Cruz, 1998). O caráter empírico, fortalecido nos trabalhos de campo surge a partir de 1795 com a publicação intitulada “*Theory of Earth*” por James Hutton, considerado o pai da geologia moderna.

I.2.1 Neptunismo *versus* Plutonismo

Foi durante o século XVIII que se deu uma importante discussão entre neptunistas e plutonista. Dois pontos de vista divergentes relativamente à formação dos materiais que constituem o nosso planeta.



Fig. I.11. James Hutton⁹ (1726-1797).

Talvez o geólogo da Grã-Bretanha mais importante do século XVIII, tenha sido James Hutton, que viveu e trabalhou em Edimburgo (Fig. I.11)⁹. Apesar de ter estudado medicina em Edimburgo nunca exerceu. Mas foi a agricultura que levou Hutton à geologia. Para Hutton era necessário o levantamento das montanhas para que se mantivesse o solo no seu lugar a fim de permitir a perpetuação das culturas. Segundo Playfair, citado em Hallam (1983), Hutton teria sido um excelente professor uma vez que *“the fire of his expression, on such occasions (other people’s discourses), and the animation of his countenance and manner are not to be described, they were always seen with great delight by those who could enter into his sentiments, and often with great astonishment by those could not”* (p. 11).

Na sua *“Theory of the Earth”*, publicada em 1795, Hutton, trabalhou a partir de princípios que eram muito diferentes dos de Werner, seu grande opositor. Por curiosidade, refira-se que no ano em que Werner nasceu, Hutton obteve o doutoramento sobre a circulação do sangue pela universidade de Lelden (Holanda).

Hutton propôs que o granito e o gnaissse tinham sido formados pela consolidação do magma, e que os basaltos foram o resultado da consolidação de antigas lavas vulcânicas (Sequeiros et al., 1997; Gonçalves, 1998; Virgili, 2007). Assim, de acordo com o seu raciocínio, o granito não era uma rocha primitiva, uma vez que se podia formar depois das rochas sedimentares (Amador & Contencas, 2001). No entanto, e acima de tudo, ele insistiu que, no passado, assim como na atualidade, todos os

⁹ JOC/EFR. (2004). James Hutton. Disponível em URL: http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hutton_James.html, consultado em janeiro de 2016.

processos geológicos são produzidos pela ação de quatro fontes de energia: a gravidade, a rotação da Terra, o calor do sol e o calor interno da Terra (Virgili, 2007). Eliminou, assim, as misteriosas catástrofes e a intervenção divina para explicar a formação dos mares, dos continentes, das cadeias de montanhas e dos vales. Defendeu que a Terra era formada a partir de material fundido e que os processos que hoje operam também operaram no passado de igual forma (Clary & Wandersee, 2014). Esta afirmação ficou conhecida como o uniformitarismo, que por vezes é traduzido como “o presente é a chave do passado”. Assim, apresentou um modelo cíclico, explicativo da evolução do planeta Terra, baseado numa dimensão infinita do tempo, alternado com fases de formação e de destruição do relevo (Amador & Contenças, 2001). Em Ribeiro (2002), segundo Hutton, cada ciclo começava pela ação do fogo provocando erupções vulcânicas que expeliam granitos e basaltos. Devido ao calor interno da Terra libertado através dos vulcões ocorria o levantamento de terras. Posteriormente ocorria um episódio frio em que as terras que tinham levantado sofriam erosão, por ação da água, e eram desniveladas. Os sedimentos resultantes da erosão iam parar ao mar sendo depois consolidados devido à pressão, ao calor e à profundidade. Recomeça então um novo ciclo, o que conduz à citada afirmação de Hutton “*no vestige of a beginning, no prospect for an end*” (citado em Allègre, 1987, p. 18).

As ideias de Hutton agradaram a comunidade científica inglesa a qual convidou John Playfair a publicar um comentário resumido da Teoria da Terra de Hutton, porque a linguagem utilizada por Hutton era complicada e de difícil compreensão, enquanto o texto de Playfair era lúcido, fácil de ler (Levin, 1996). Em 1802 Playfair publica-o com o título de “*Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*”.

Um opositor das ideias defendidas por Hutton foi Abraham Gottlob Werner que como professor alcançou grande fama (Fig. I.12)¹⁰ na Escola de Minas de Freiberg, na Silésia Prusiana¹¹, na qual lecionou, durante 40 anos.

Devido ao seu débil estado de saúde, em adulto dedicou-se pouco ao trabalho de campo e, como não gostava de escrever, deixou poucos registos. No entanto, o seu entusiasmo, a sua eloquência, as suas técnicas de ensino e a apresentação metódica atraiu alunos de todas as partes da Europa (Gregory, 1921; Read, 1949). “*He treated*

¹⁰ Soylent Communications (2014). Abraham Gottlob Werner. Disponível em URL:
<http://www.nndb.com/people/244/000103932/>), consultado em dezembro de 2015.

¹¹ Atual Alemanha.

his subjects in such an admirable manner that he roused the enthusiasm of his hearers and inspired them not only with a taste but with a passion for his science" (Cuvier, citado em Adams, 1938, p. 214). O seu ensino era baseado naquilo a que ele designava de Geognósia, termo proposto por Füchel¹² (1722-1773) nos meados do século XVIII, *"la ciencia que trata de la tierra sólida como un conjunto y las diferentes localizaciones de minerale y rocas de las que este está compuesto, así como del origen de esos minerales e rocas e de sus interrelaciones"* (Hallam, 1985, p.2). Werner, esboçou

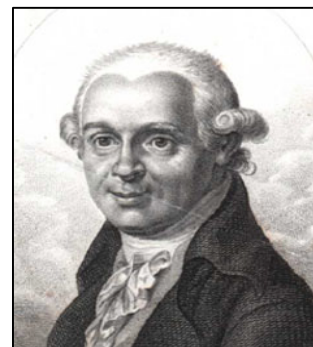



Fig. I.12. Abraham Werner¹⁰
(1749-1817).

um esquema estratigráfico que considerava aplicável a toda a Terra. Defendia que a Terra era constituída por sucessivas camadas. Defendeu, também, que todas as rochas, incluindo os granitos, os gnaisses e os basaltos eram de origem sedimentar, provenientes de um oceano universal que tinha coberto a Terra (Virgili, 2007). No método werniano verificavam-se duas preocupações: i) um cuidado em classificar e dar nome aos terrenos segundo a sua ordem de sobreposição e ii) a intenção de traduzir a idade relativa das camadas (Gohau, 1987).

A sua publicação fundamental foi um folheto de 28 páginas que se intitulava *"Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten"* e no qual esboçou um esquema estratigráfico que considerava aplicável a toda a Terra (Quadro I.1). Este esquema estratigráfico não era original, uma grande parte era atribuída a trabalhos de Lehmann e Füchsel *"They distinguished three main types of rock in terms of their age. First came the primary rocks without any fossils, forming the cones of mountains: they were followed by the secondary deposits which contained the fossils of the simple sea creatures; and finally came the tertiary rocks, containing the fossils of land animals and plants"* (Mason, 1962, p. 399).

¹² O trabalho de Werner foi influenciado pelos de George Füchel e Johann Lehmann (1719-1767). Füchel identificou nove formações rochosas em Thüringen (terra onde nasceu), sendo a mais antiga formada pela série de veios de rochas verticais que formavam os topos de Thüringen e das montanhas do Harz e a formação mais recente consistia na série de calcários superiores. Lehmann foi professor em Berlim e mais tarde em St. Petersburg. Fez um estudo detalhado das rochas das montanhas do Harz (Alemanha) e de Erzgebirge dividindo-as em três classes. A primeira contém as rochas mais antigas, aquelas que se encontram verticais e nunca horizontais; a segunda contém as rochas formadas por depósitos sedimentares em água, cujos estratos são horizontais e segundo uma ordem regular; por fim a última classe contém os estratos que resultaram de acidentes locais em períodos variados subsequentes ao da formação das rochas da primeira e da segunda classe. (Wolf, 1999).

Quadro 1.1 Esquema estratigráfico proposto por Werner para toda a Terra (adaptado de Ribeiro, 2002, p. 47).

<p>mais recente</p>  <p>mais antigo</p>	<i>Vulkanische Gesteine</i> - constituído por materiais realmente vulcânicos (lava e tufos) e pseudovulcânicos (sílex e jaspe).
	<i>Aufgeschwemmte Gebirge</i> – constituído por depósitos relativamente pouco consolidados (conglomerados, areias, argilas, etc.).
	Flötzgebirge ¹³ - terreno que apresenta subdivisões sucessivas que vão desde o Pérmico, Triássico, Jurássico, Cretácico superior e Terciário ¹⁴ . “Ocorrência de arenitos, xistos, camadas de carvão, calcários bastante fossilíferos e ocasionalmente bancadas de uma rocha negra designada mais tarde de basalto” (Levin, 1996).
	Übergangsgebirge (“de transição”) - uma sucessão atribuída actualmente ao Paleozóico superior de calcários, grauvaques e dioritos.
	Urgebirge (“primitivo”) ¹⁵ – constituído por granitos, gneisses, xistos, serpentinitos, pórfiros cupríferos, etc.

Um contemporâneo de Werner, Nicolas Desmarest (1725-1815) defendia que era necessário observar a natureza para posteriormente concluir sobre o objeto de estudo. Assim, após longos anos de trabalho de campo e de reflexão, defendia que o basalto não tinha origem aquosa, como defendia Werner, mas sim vulcânica. A partir das observações realizadas no campo, deduziu que os basaltos, em qualquer parte do mundo, têm origem vulcânica.

Segundo Ribeiro (2002), de um modo sucinto podemos afirmar que os neptunistas eram aqueles que acreditavam que a maioria (se não mesmo todos) dos materiais que constituíam a crusta terrestre formaram-se por um processo com dois estádios:

- i) existiu um grande oceano que cobriu toda a superfície terrestre e formaram-se estratos por sedimentação;
- ii) a água do oceano evaporou-se e os estratos ficaram expostos. O que significa que quer o granito quer o basalto tinham uma origem aquosa.

Pelo contrário, os plutonistas afirmavam que tinham uma origem ígnea, sendo o fogo a razão da existência destas duas rochas.

¹³ Este termo provém de Lehmann. Estes basaltos não eram aceites como gerados a partir de um magma fundido (Carvalho, 2002-a).

¹⁴ A idade relativa do Cretácico superior em relação ao Jurássico e Terciário não estavam claramente estabelecidas.

¹⁵ A maioria destas rochas passou mais tarde a serem designadas de rochas ígneas e metamórficas.

I.2.2 Uniformitarismo *versus* Catastrofismo

Hutton, observou atentamente a erosão lenta e constante da terra, como a realizada pelos rios e a deposição dos sedimentos no mar, bem como os granitos cristalinos das montanhas escocesas. Ele concluiu que as rochas sedimentares são formadas a partir de camadas de lama e areia compactados por ação de baixas pressões e calor, enquanto as rochas cristalinas tiveram origem no material fundido do interior da Terra, os quais foram trazidos à superfície pela ação vulcânica (Woolhead, 1999). O princípio uniformista de Hutton contrastou com a ideia de Werner, de um oceano primitivo, que envolvia eventos catastróficos confinados ao passado e não observáveis no presente.

Charles Lyell nasceu (Fig. I.13)¹⁶, a poucos quilómetros de distância de Edimburgo em 1797, no mesmo ano em que morreu o precursor do uniformitarismo, como se destinado a dar continuidade ao trabalho de Hutton. Tendo sido só na década de 1830 que Charles Lyell argumentou a teoria huttoniana através dos três volumes de *Princípios de Geologia* que redigiu (Clary & Wandersee, 2014).

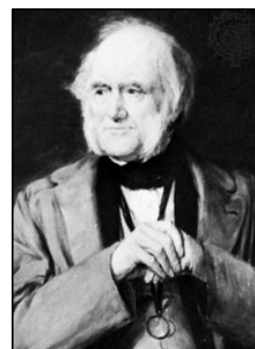


Fig. I.13. Charles Lyell¹⁶
(1797-1875).

Lyell estabeleceu um método científico na geologia, diferente do da física ou da química, que procurava provar teorias e/ou hipóteses de trabalho através da observação da realidade e de experiências, sempre que possível, em vez de basear-se em 'catástrofes' ou 'causas' que não podem ser observadas ou submetidas a critérios válidos (Virgili, 2007; Amador, 2009). Também aplicou o princípio newtoniano, segundo o qual, as leis naturais têm-se mantido constantes ao longo do tempo. Segundo Lyell, esta “verdade invariável” permite-nos explicar os processos geológicos do passado que se manifestam através das características dos materiais de outras épocas e, analisando os processos que atuam hoje, podemos revelar a história da Terra. Para o autor, as causas que atuaram no passado atuam no presente, sem variação quer do tipo quer da intensidade. Este é o sentido fundamental do atualismo, como proposto por Lyell, que continua a ser atualmente válido (Virgili, 2007; Amador & Contencas, 2001).

O “uniformitarismo”, termo utilizado por vezes como sinónimo de atualismo, pressupõe uniformidade dos processos, das leis físicas que operam na natureza no

¹⁶ Encyclopaedia Britannica, Inc. (2016b). Sir Charles Lyell, Baronet. Disponível em URL: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/352672/Sir-Charles-Lyell-Baronet>, consultado em fevereiro de 2016.

tempo e no espaço tendo sido uma designação atribuída, posteriormente, às concepções defendidas por Lyell (Pedrinaci, 2001; Amador, 2009). Contudo, o termo “uniformitarismo” também está associado à concepção de gradualismo, em que há uniformidade dos processos e no ritmo com que eles atuam.

O uniformitarismo estava em oposição ao catastrofismo: a crença de que, eventos catastróficos isolados tinham sido os responsáveis pela modulação da superfície terrestre. Por exemplo, os defensores do catastrofismo explicavam que os ossos de hienas, elefantes e rinocerontes encontrados numa caverna em Inglaterra, na Kirkdale Cave em Yorkshire, tinham sido depositados durante o dilúvio bíblico (Clary & Wandersee, 2014). William Buckland reverendo e o primeiro professor de geologia na Universidade de Oxford (Fig. I.14)¹⁷, tentou conciliar a geologia e o dilúvio. Buckland, explicou que os ossos fósseis de hienas, encontrados na caverna, representavam as que viviam lá e os outros ossos de animais eram os restos de refeições das hienas.



Fig. I.14. William Buckland¹⁷ (1784-1808).

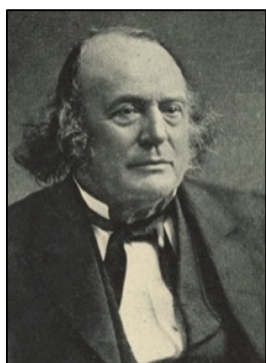


Fig. I.15¹⁸. Louis Agassiz (1807-1873).

Enquanto os geólogos continuavam a debater sobre como a paisagem da Terra se tinha formado, quer pelos mesmos processos que operam atualmente (uniformitarismo) quer por eventos cataclísmicos (catastrofismo), outro cientista entrou no debate com a hipótese da alteração climática. Em 1837, Louis Agassiz, (Fig. I.15)¹⁸, propôs que a Terra tinha sido submetida a uma glaciação no seu passado. Ele baseou a sua teoria em grandes rochas que diferem da paisagem circundante, as quais só poderiam ter sido trazidas para o local através do gelo (Clary & Wandersee, 2014). Aparece, assim, uma nova concepção, que integra como normais as catástrofes, a qual foi designada por Hsü como catastrofismo actualista. Há, contudo, quem prefira o termo neouniformitarismo, baseando-se no facto de que as catástrofes que atualmente ocorrem (e eventualmente ocorreram no passado) são uma confirmação do princípio do uniformitarismo e não uma contradição (Pedrinaci, 2001).

¹⁷ Oxford University Museum of Natural History. (s/d). William Buckland. Disponível em URL: <http://www.oum.ox.ac.uk/learning/pdfs/buckland.pdf>, consultado em janeiro de 2016.

¹⁸ Soylent Communications (2016). Louis Agassiz. Disponível em URL: <http://www.nndb.com/people/774/000082528/>, consultado em fevereiro de 2016.

Desta forma, podemos referir que no final do século XIX, os mesmos dados, eram interpretados de forma distinta por uniformitaristas e catastrofistas.

I.3 Geologia causal *versus* geologia histórica

Laudan (1987), no seu livro *From mineralogy to geology: the foundations of a science, 1650-1830*, refere que, nos séculos XVIII e XIX, os geólogos encontravam-se divididos em dois grupos, os apoiantes de uma geologia causal e os de uma geologia histórica, cujos objetivos eram diferentes.

Os geólogos causais queriam, que no final das suas investigações tivessem conseguido, determinar os processos causais que moldaram a superfície terrestre. Estes fenómenos, eram habitualmente processos de erosão, consolidação de material solto e mudanças do nível da terra e do mar, de forma que novas rochas apareciam acima do nível do oceano. Eles pretendiam sair das extrapolações físicas e químicas para analogias laboratoriais bem como observações de campo a fim de providenciar a garantia evidente das suas afirmações causais, as quais tinham de estar apoiadas em termos apropriados para a geologia. Relativamente aos geólogos históricos, eles pretendiam determinar a série de eventos únicos que tinham formado a história da terra, uma vez que estes estavam, primariamente, gravados nas rochas (e numa extensão menor, em testemunhos humanos). Assim, era na observação do campo que colocavam a sua garantia. Eles usavam princípios causais, de qualquer ciência, desde que os ajudassem a interpretar as rochas e a reconstruir uma sequência de eventos únicos. Segundo Dias (comunicação pessoal, 7 maio, 2014, Apêndice I) o facto de se falar em geologia como sendo uma ciência histórica, não está relacionada com os historiadores e os arqueólogos, porque a geologia não é nem histórica nem pré-histórica. Segundo o investigador referido, a geologia é uma ciência histórica porque trabalha com um tempo que é geológico. O tempo geológico está para além do que a nossa mente tem capacidade para perceber. É uma ciência histórica na perspetiva de que é uma sequência cronológica de acontecimentos e deve ser essa a razão porque se utiliza o conceito histórico associado a esta ciência.

A geologia histórica e a causal avançaram com um razoável grau de independência. Contudo, os geólogos históricos apesar de necessitarem de teorias

geológicas para reconstruir a sucessão dos acontecimentos e as condições passadas, não precisavam de um alcance completo da geologia causal. Laudan (1987) exemplifica, referindo que, na segunda década de 1800, os geólogos históricos ligaram pouco às teorias de orogenia que os geólogos causais estavam a propagandear porque eram irrelevantes para estabelecer a sucessão da formação das rochas. De igual modo, os geólogos causais acreditavam que tinham pouco a aprender com uma história que era dita em termos de uma sequência de formações.

Se os objetivos eram produzir teorias geológicas causais, o problema dos geólogos era determinar as causas que levaram às alterações da superfície terrestre. Porém, se os objetivos eram construir a sequência dos eventos passados da Terra, o problema dos geólogos era determinar os registos em que esses efeitos passados ficaram gravados (Laudan, 1987). Todos os geólogos, nos séculos XVIII e XIX, esperavam uma teoria ou sistema que desempenhasse um papel na geologia e todos exigiam que essa teoria fosse justificada pela evidência. O ponto em questão não era se se optava pela teoria ou pela recolha de factos, mas sim a relação entre a teoria e os factos.

Para Frodeman (2003), as explicações dentro das ciências históricas envolvem ferramentas comuns a todas as ciências (e.g. modelo de explicação dedutiva-nomológica), mas também são distinguidas por três elementos adicionais: i) a relevância limitada das experiências laboratoriais; ii) o problema de espécies naturais e iii) o papel da narrativa. De acordo com o mesmo autor (Frodeman, 2003), a afirmação de que todo o conhecimento humano é fundamentalmente hermenêutico tem implicações portentosas para a compreensão da natureza do conhecimento científico. O papel da hermenêutica não é o desenvolvimento de um conjunto de regras para a interpretação adequada, mas para esclarecer as condições gerais em que a compreensão ocorre.

Contudo, os problemas com que se confrontavam para encontrarem métodos, quer para elaborar teorias causais quer para reconstruir a sequência de acontecimentos que terão ocorrido no passado a partir dos registos atuais, terão sido sensivelmente os mesmos e nos finais do século XVIII, os geólogos discutiam a aplicabilidade de métodos distintos para determinar as relações causa/efeito. Por um lado, existiam os que defendiam que a principal fonte de conhecimento é a experiência sensorial (os empiristas) e que as teorias científicas derivam dos factos que se obtêm por observação e experimentação (por exemplo, Newton e Galileu). Por outro lado, havia os que

defendiam que o conhecimento tem origem na razão (os racionalistas) e não na experiência sensível, pois esta não é suficiente para validar o conhecimento (por exemplo, Descartes).

Ao contrário das outras ciências experimentais, o objeto de estudo da geologia são sistemas bastante complexos que funcionam numa larga escala temporal com características muito particulares, cujas variáveis não podem ser totalmente testadas em laboratório. Dias, (R. Dias, comunicação pessoal, 7 maio, 2014) referiu que apesar dos geólogos utilizarem o método científico, este tem de ser adaptado e não faz sentido falar num único método em geologia porque é diferente testar em laboratório algo relacionado com o ciclo hidrológico ou testar algo relacionado com o ciclo tectónico, em que a dimensão temporal é díspar. Assim, confrontados com as dificuldades de trabalhar o passado geológico, quer devido a problemas de escala temporal e espacial, quer devido à singularidade e à complexidade de fenómenos geológicos, os cientistas do final do século XVIII e início do século XIX procuravam outro tipo de explicações, que envolviam o processo indutivo eliminatório (Laudan, 1987; Frodeman, 2001), o método da indução enumerativa, o método de hipóteses e o raciocínio por analogia (Laudan, 1987).

O método indutivo-experimental ou indutivo eliminatório, de Francis Bacon (1561-1626), foi considerado durante muito tempo como sendo o “único” método científico (Carrilho, 1994), o qual foi utilizado, por exemplo, por Steno, Buffon e Werner, que partiram de premissas particulares para elaborarem uma conclusão geral (Laudan, 1987).

Segundo o método indutivo eliminatório, os dados eram usados para provar a verdade de uma hipótese, refutando todas as teorias adversárias aceitáveis. A certeza evidente que este método preconizava teve grande impacto, James Hutton, por exemplo, usou este método ao justificar que as rochas foram consolidadas pelo calor (Laudan, 1987). O grande obstáculo deste método era produzir uma lista de todas as hipóteses possíveis. Uma vez que esta dificuldade era largamente tida em conta, muitos cientistas desdenhavam a indução eliminativa (Laudan, 1987).

Outro método bastante discutido foi o da indução enumerativa. De acordo com este método as únicas metodologias corretas são as que surgem como simples generalizações a partir de dados. Este método foi popular no século XVIII e início do século XIX mas também foi o método preferido pela maior parte dos geólogos. No entanto, teve um grande problema no que diz respeito à geologia. Muitos críticos afirmavam que era muito restritivo. Se os objetivos dos geólogos eram descobrir as

causas que levavam aos efeitos geológicos que eles constataavam, a indução enumerativa de pouco serve.

O método das hipóteses múltiplas, indicado por T. C. Chamberlin (1843-1928), em 1897, envolvia a formulação de tantas hipóteses quantas possíveis. Estas, eram seletivamente eliminadas ou combinadas para desenvolver explicações dos fenómenos sob apreciação. A grande vantagem deste método, era que justificava as inferências realizadas sobre a resistência de uma pequena e acessível gama de dados. Segundo o mesmo autor, os estudos dos geólogos eram tão complexos que seria raro um problema ser explicável por uma simples causa (Chamberlin, 1897). No entanto, o problema do método das hipóteses era o seu carácter altamente inconclusivo, porque muitas hipóteses contrárias podem ser compatíveis com o mesmo corpo de prova. De todas as metodologias disponíveis, o método das hipóteses era o menos fiável (Laudan, 1987).

Para o método funcionar, o cientista tem de ser capaz de observar conjunções de causa-efeito relevantes numa dada situação e depois generalizar essas conjunções. Na geologia, tais conjunções são difíceis de observar, pois em muitos casos, as causas que produziram os efeitos que nós, agora, observamos agiram no passado, pelo que não são diretamente observáveis. Noutros casos, as causas que podem ser observadas no presente atuam tão vagarosamente que os seus efeitos não são detetados. Há ainda processos que ocorrem no interior da Terra não sendo, portanto, observáveis.

Lyell, que apreciava bastante os problemas geológicos, encorajou os seus discípulos a desaprovar este método, tão usado no seu país, e a desconsiderar toda a especulação geológica. Os geólogos consideravam o método da analogia como sendo o método intermédio entre os métodos das hipóteses e o da indução. A indução enumerativa apenas permitia inferências a partir de algum acontecimento conhecido para outros acontecimentos.

Assim, concluímos que até ao século XVIII, os geólogos assumiram que a Terra tinha um passado recente e que as causas contemporâneas eram eficazes. A escala de tempo em que os eventos geológicos ocorriam, tinha sido impedimento para teorizar, mas o sucesso da geologia histórica significava que embora os geólogos estivessem relutantes em atribuir uma idade específica à Terra, a maioria deles concluía, ou pelo menos cogitava a possibilidade de que muitos eventos aconteceram durante longos períodos de tempo.

Ao longo do século XVIII, mineralogistas e cosmogonistas recorrem a analogias para explicar a complexidade dos fenómenos geológicos e assumem que as analogias entre as atividades experimentais e os processos geológicos não eram problema. No

entanto, no final do século XVIII, início do século XIX, alguns geólogos começaram a proferir que as condições naturais e as realizadas em laboratório eram tão distintas que o uso dessas analogias levou a graves equívocos sobre a natureza dos processos que ocorriam no nosso planeta. Contudo, ainda hoje o entusiasmo do raciocínio por analogia entre o passado e o presente tem tido reconhecimento no princípio do uniformitarismo (Schumm, 2000; Frodeman, 2001).

I.4 A geologia como ciência histórica e hermenêutica

Segundo Raab & Frodeman (2002), os geólogos têm sido confrontados pela contradição entre as suas experiências com o raciocínio científico no campo e as explicações teóricas sobre a natureza desse raciocínio. A tensão entre estes dois pontos de vista levaram muitos geólogos a concluir que a inerente impressão e intuição que estão envolvidas na geologia devem ser consideradas como um défice, especialmente em comparação com os métodos e resultados das ciências exatas. No entanto, estes geólogos negligenciaram a possibilidade de que são estas qualidades que fazem da geologia um estudo de caso real para compreender a natureza e os limites do raciocínio humano e científico: a geologia como uma ciência hermenêutica e histórica.

Segundo os mesmos autores, desde 1960 que tem havido uma crescente consciência, na comunidade geológica, de que há características distintas, na geologia, que não parecem encaixar-se bem na conceção de uma ciência que progride pelo ciclo de criação de uma hipótese, testá-la por experimentação, verificar ou falsificar e continuar com uma nova hipótese. O mais importante destes recursos é a natureza histórica e interpretativa da geologia, a interação entre a observação e a razão e a impressão intrínseca de muitos dados geológicos. A geologia é uma ciência hermenêutica no sentido de que interpreta, por exemplo, os diferentes aspetos de um afloramento, atribuindo a relativa importância a cada aspeto, avaliando quais as características e os padrões mais significativos da rocha (Frodeman, 2001). E é esta mudança de princípio, de que todo o conhecimento humano é hermenêutico em vez de que os dados são fornecidos de forma objetiva ao investigador, que tem implicações importantes para o entendimento quer da natureza do conhecimento científico, quer da relação entre a ciência e a sociedade, sendo esta mistura de percepção e conceito fundamental para todo o conhecimento, tal como defendem os hermenêuticos

contemporâneos. No entanto, tal como já foi referido, a geologia não é só uma ciência hermenêutica, é também uma ciência histórica, na medida em que a explicação histórica possui um papel importante no seu funcionamento, uma vez que, não explicam um acontecimento submetendo-o a uma generalização, mas sim, integrando-o num todo organizado (Frodeman, 2001).

Mais recentemente, Cleland (2013) argumenta a favor das ciências históricas, em oposição às experimentais, referindo que as primeiras utilizam uma metodologia de raciocínio probatório que emprega: i) várias hipóteses para explicar (em geral, em termos de suas causas) os efeitos de acontecimentos passados que são descobertos no campo, e ii) a procura de uma "*smoking gun*" que irá diferenciar essas hipóteses.

Ao contrário do tradicional método científico, o processo evidenciado nas ciências históricas está menos preocupado com a previsão, seguido de confirmação/refutação, centrando-se mais no poder explicativo associado às várias hipóteses. Porém, Turner (2013) vai mais longe, do que Cleland, ao afirmar que o que torna uma ciência, como a geologia, histórica não é apenas a sua metodologia, mas também a sua metafísica, a qual envolve questões relacionadas com a natureza do realismo científico, que tem sido uma grande preocupação para os filósofos contemporâneos da ciência e as suas metáforas.

Para Kravitz (2017) estes pontos de vista, aparentemente díspares, em que a geologia é tanto uma ciência histórica como hermenêutica, são compatíveis em geologia. Assim, a geologia além de ser uma ciência histórica (na medida em que não se empenha em fazer previsões) é, pelo papel que a explicação histórica representa, uma ciência hermenêutica (Frodeman, 2001, 2003). Segundo Raab e Frodeman (2002), a ideia da hermenêutica significa que qualquer percepção não deve ser pensada como dados objetivos dos sentidos, mas sim, como contendo já alguma interpretação inconsciente que decorre de experiências anteriores à memória dessas experiências. Neste sentido, cada ato perceptivo é necessariamente um ato interpretativo. O recurso a analogias é deveras importante nas ciências históricas, já que a assunção da analogia entre o presente e o passado permite uma explanação de fenómenos passados e predição de futuros eventos (Schumm, 2000). Contudo, apesar de os modelos de comportamento análogo serem importantes para explicar determinados fenómenos, quando os mecanismos que os constituem não possibilitam uma análise empírica (Engelhardt & Zimmermann, 1988) é necessário conhecer que acontecimentos ou objetos são similares, de forma a ser possível realizar inferências a partir de eventos conhecidos para outros desconhecidos, que apresentem semelhanças particulares com esses (Laudan, 1987).

Portanto, a geologia ocupa-se do estudo do sistema terrestre, o qual está em permanente mudança e, conseqüentemente, as situações que no sistema ocorrem são singulares. É uma ciência que lida com processos e forças não observáveis em laboratório pelo que, de todas as ciências, é aquela que necessita de recorrer ao raciocínio histórico e interpretativo, ao raciocínio científico e ao recurso de analogias e modelos para o desenvolvimento de um raciocínio por analogia.

1.5 A geologia e o seu ensino

Apesar de historicamente o interesse pela geologia já se ter demonstrado na antiga Grécia, onde Aristóteles terá dito que os peixes podiam ser criados nas rochas, é a partir do uniformitarismo de James Hutton, nos finais do século XVIII, que a geologia é impulsionada até à atualidade. Foi a partir daqui que o trabalho de campo, na geologia, começou a ter importância.

Tudo começa com a observação, a descrição e a medição de estruturas geológicas, como falhas e dobras. O trabalho do geólogo inicia-se na mesoescala passando, algumas vezes, posteriormente para o laboratório. Com a ajuda de modelos e técnicas diversas são realizadas extrapolações relacionadas com a experiência e intuição do geólogo (Moore & Twiss, 1995).

No ensino da geologia os currículos apelam ao desenvolvimento de trabalho prático (TP), dentro e fora da sala de aula, nomeadamente às aulas de campo. Del Carmen e Pedrinaci (1997) referem que, no processo de ensino, o aluno deve começar por explorar o meio que o rodeia pois permite-lhe efetuar as primeiras interpretações e aprender a apreciar o que o rodeia através da observação. Assim, familiarizar o aluno com o espaço envolvente e promover novas aprendizagens sobre a geologia da região poderão constituir um incentivo para a compreensão de processos e objetos lecionados em sala de aula (Correia & Gomes, 2011). Tal como realçam Salvador e Vasconcelos (2007) as atividades “*outdoor*” (atividades fora da sala de aula) são uma estratégia para o desenvolvimento do bem-estar físico/psíquico dos alunos. Segundo Hodson (1988) o TP inclui o trabalho laboratorial (TL) e o trabalho de campo (TC), inclui todas as atividades em que os alunos desenvolvam o domínio psicomotor, cognitivo e afetivo. O mesmo autor define TL como aquele que se desenvolve num laboratório ou numa sala de aula e TC todo o trabalho que ocorre fora da sala de aula, nomeadamente visitas a

museus, aulas de campo, etc. Na perspetiva de Orion (1989) o sucesso da saída de campo depende essencialmente do trabalho que foi realizado na sua preparação. Este investigador propõe que a sua planificação seja articulada com as restantes atividades em sala de aula, isto é, não deve ser a primeira nem a última experiência da aprendizagem.

O TP quando organizado segundo um modelo investigativo é benéfico para os alunos ao nível das capacidades, conhecimentos e atitudes. Ao nível das capacidades facilita a assimilação de conceitos abstratos, ao nível dos conhecimentos contribuem para uma maior motivação, organização e potenciação da informação e ao nível das atitudes fomenta melhores relações interpares e estimula a curiosidade de interpretação e compreensão do mundo natural (Rebelo e Marques, 2000; Marques & Praia, 2009). Tal como consideram Pedrinaci et al. (1994, p. 41), o objetivo do TC em geologia não é *“aprender geologia de campo, mas sim geologia no campo”*.

Porém, o ensino durante grande parte do século XX não atribuía ao TP a importância desejada. A formação inicial de professores não incentivava tal prática nem a grande maioria das escolas estavam dotadas de condições físicas para a realização do TP. No início do século XXI assistiu-se à remodelação de um número considerável das escolas portuguesas e à construção de salas próprias para a prática do TP. Com as condições físicas criadas e o incentivo à utilização do TP nos currículos de ciências, à partida, estavam reunidas as condições para a realização de trabalho prático. No entanto, tal ainda não se verifica com a ocorrência desejada. Ainda hoje há escolas em que é necessário impor que os docentes realizem um número mínimo de atividades práticas por ano letivo, devido ao número diminuto de TP que alguns professores realizavam nas suas práticas letivas.

Para além do trabalho de campo, também a modelação se impôs como método na geologia e no seu ensino.

Embora o senso comum considere a experimentação como o modo, por excelência, de construção de conhecimento científico, na história da geologia, a experimentação, com o apoio em modelos, apenas assumiu um grande impacto no confronto antagonista entre a escola plutonista¹⁹ e a escola neptunista²⁰ (Oreskes,

¹⁹ Afirmavam que o granito e basalto tinham uma origem ígnea, sendo o fogo a razão da existência destas duas rochas (Gonçalves & Carneiro, 2006-2007).

²⁰ Acreditavam que os materiais que constituem a crosta terrestre tiveram uma origem aquosa (Gonçalves & Carneiro, 2006-2007).

2007). O uso de modelos para esclarecer fenómenos geológicos foi contestado desde o seu aparecimento, uma vez que contradizia a sua autoimagem da geologia como uma ciência de campo. Quando a geologia, no século XIX, se tornou numa disciplina científica, a principal tarefa do geólogo era deslocar-se para o campo, recolher amostras de rochas e cartografar a área em estudo, que permitissem evocar a origem das suas teorias. Vogt (1846, citado em Brandstetter, 2011) refere mesmo que a geologia é impossível sem viagens, identificando o geólogo a um naturalista viajado. Apesar dessa autoimagem da geologia, desde o início do século XIX, diversas tentativas foram realizadas para transportar fenómenos geológicos para o laboratório. Basicamente, surgiram duas linhas de investigação experimental distintas; uma interessada nas origens de minerais e rochas; e outra vocacionada para a replicação da formação de grandes estruturas, como cadeias montanhosas (Brandstetter, 2011). Neste trabalho, apenas focalizaremos a linha de investigação direcionada para a explicação da formação de estruturas geológicas.

Embora tenham surgido apenas com função explicativa, atualmente, os modelos assumem uma configuração computacional e, em vez do carácter exclusivamente explicativo, assumem um carácter preditivo. Tais modelos, nomeadamente, os construídos durante os séculos XIX e XX, têm sido usados não só para promover a divulgação da geologia, como servem propósitos educacionais (Brandstetter, 2011; Vasconcelos et al., 2015). Para alguns cientistas, os modelos prometeram ultrapassar a barreira dos intervalos de tempo inimagináveis, com que a geologia tem de lidar. Os modelos que simulavam fenómenos tectónicos, portanto, tornaram-se mais do que ferramentas ou instrumentos destinados a responder a perguntas sobre os mecanismos causais de laboratório e ajudar a decidir entre diferentes hipóteses. Tornaram-se em “teatros em miniatura” para dramatizar a ação de forças em questão ao longo do tempo. As estruturas originadas pareciam-se com as suas equivalentes em grande escala. A modelação era agora uma tecnologia da imaginação (Brandstetter, 2011).

Atualmente a modelação é utilizada na investigação científica para simular diversos processos geológicos que ocorrem em unidades de tempo e espaço bem determinadas. Tal é conseguido pelo uso de modelos dinâmicos, construídos à escala, permitindo a manipulação de diversas variáveis, selecionadas de acordo com o objetivo da investigação (Bolacha, 2014; Ferreira, Alencão & Vasconcelos, 2015; Vasconcelos et al., 2015). Os modelos usados na investigação científica têm de ser, portanto, análogos pois só assim os resultados obtidos podem fortalecer as hipóteses. Já os que

são usados no ensino, como têm objetivos didáticos, podem apenas permitir que a similaridade do processo substitua a analogia.

Os modelos análogos apresentam vantagens significativas. Neste sentido, auxiliam a compreensão de fenómenos tectónicos e de acreção, fornecem informações complementares sobre os processos de deformação à escala das estruturas geológicas, e podem ser estudados fenómenos de convergência a grande escala, fundamental para compreender o papel da subducção no desenvolvimento de cadeias montanhosas (Malavieille, 2010). Pelos referidos motivos, em particular, a modelação análoga tem constituído uma metodologia de investigação adotada por diversos grupos de cientistas para simular os processos anteriormente descritos (e.g. Malavieille, 1984; Malavieille et al., 2008; Malavieille, 2010; Malavieille & Konstantinovskaya, 2010; Vasconcelos et al., 2015).

É de realçar que apesar dos currículos de geologia do ensino secundário sugerirem o recurso a analogia e a modelos, no ensino básico quase não é feita referência. Porém, o uso incorreto dos mesmos (analogias e modelos) produz efeito contrário ao esperado em termos de aprendizagem dos alunos. Pelo que, as analogias devem ser desmontadas de forma a poder transformar o seu poder especulativo numa compreensão racional e seletiva, a fim de verificar a aquisição e desenvolvimento do espírito crítico dos alunos (Brown & Salter, 2010; Alençao et al., 2012). Estes, para compreenderem o mundo que os rodeia e os fenómenos que nele ocorrem, constroem representações internas (modelos mentais) que lhes permitem explicá-lo e/ou predizê-lo. Estes modelos são incompletos e particulares sendo necessário que os alunos formem modelos mentais consistentes com a informação recebida na sala de aula (Greca & Moreira, 2000). Os modelos mentais abrem caminho para a investigação do uso heurístico das imagens e simulações mentais no processo de criação e compreensão de uma teoria científica (Johnson-Laird, 1983).

Num estudo realizado por Moutinho et al. (2013) verificou-se que para uma abordagem baseada na modelação ter sucesso é necessário que os professores tenham conhecimento sobre modelos científicos e estratégias de modelação, sem os quais não é possível mediar um processo de aprendizagem significativa. Tal conclusão constitui-se como uma das principais justificações do presente estudo.

CAPÍTULO II: Modelos e o desenvolvimento do Raciocínio

II.1 Introdução

As atuais propostas curriculares de alguns países ocidentais incluem um ensino das ciências que promova, no aluno, um conhecimento flexível e crítico. Já não interessa uma escola que apenas transmita conhecimentos desvinculados e por vezes obsoletos. O recurso aos modelos e à modelação é importante na educação científica, sendo uma forma de espelhar o trabalho do cientista. Por outro lado, o papel dos modelos e das analogias pode ser encontrado em muitos casos históricos, nomeadamente nos trabalhos de Darwin ou de Hall, sendo características fundamentais da ciência.

Neste capítulo aborda-se a evolução histórica dos modelos em geologia, a importância dos modelos no ensino da geologia, os tipos de modelo para o ensino bem como o Raciocínio (científico, por analogia e histórico e interpretativo) e o ensino baseado em modelos.

II.2 A evolução histórica dos modelos em geologia

O primeiro modelo aceite pela comunidade científica foi o modelo proposto por James Hall (1761-1832) e a partir de então, vários geólogos têm-se dedicado à modelação. A modelação em geologia começou com modelos físicos que foram sofrendo lentas alterações e só com King Hubbert (1903-1989), com a definição das bases de representação escalar na modelação análoga e das condições de similaridade que foram fundamentais na geologia experimental. Os modelos inicialmente estáticos e físicos deram origem a modelos dinâmicos com regras de proporcionalidade. Com a teoria da tectónica de placas a modelação de processos a pequena escala deu origem à modelação de processos de grande escala. E, mais recentemente, surgiram modelos cada vez mais complexos e monitorizados computacionalmente (Graveleau, Dominguez & Malavieille, 2008; Graveleau et al., 2015), com o objetivo de tentar explicar fenómenos que ocorrem à superfície terrestre.



Fig. II.1. Georges Zbyszewski, 1909-1999 (extraído de Mota, 2014, p.206).

Os primeiros modelos análogos experimentais que apareceram em Portugal foram, segundo Mota (2011) e Fonseca et al. (2001), em 1946 pela intervenção de Georges Zbyszewski (Fig. II.1). Zbyszewski, geólogo francês, trabalhou nos Serviços Geológicos de Portugal e era responsável por estudar o vale tifónico na região central de Portugal (Carvalho, 2014). Os modelos análogos projetados e construídos por Zbyszewski em contexto experimental não tiveram consequências em Portugal, acabando por ser uma investigação idiossincrática e localizada (Mota, 2011). Na Fig. II.2A e B encontram-se dois resultados obtidos por Zbyszewski com os seus modelos análogos relativamente ao estudo do vale tifónico. A construção dos modelos foi baseada na combinação de várias fontes de dados com o conteúdo teórico de cada uma das hipóteses sobre a origem do vale tifónico.

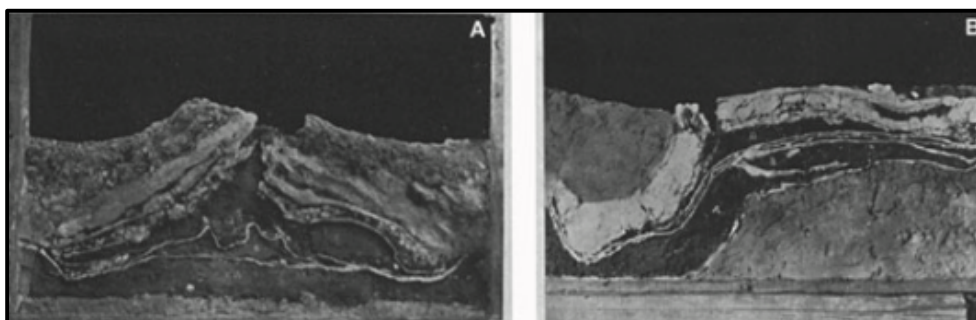


Fig. II.2. Fotografia de dois resultados obtidos por Georges Zbyszewski, com os seus modelos análogos. A- corresponde a uma hipótese sobre a formação do vale tifónico e o B a outra hipótese (extraído de Mota, 2011, p.12).

No entanto, só cerca de 40 anos depois é que Zbyszewski obteve seguidores em Portugal. Os professores António Ribeiro, Paulo Fonseca, Rui Dias e Alexandre Araújo fundaram o LATTEX (Laboratório de Tectonofísica e Tectónica Experimental) com o objetivo de desenvolverem trabalhos na área da modelação. Em 2003 foi extinto e no mesmo ano o professor Paulo Fonseca inaugurou o Laboratório de Geologia Experimental (LabGExp) integrado no Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Em 2005 realizou duas grandes ações de formação, perto de 70 participantes, para professores do ensino básico e secundário. Com fins mais de

divulgação do que investigação ou ensino, no ano de 2005, o professor Rui Dias inaugurou o Centro de Ciência Viva de Estremoz (CCVEstremoz), o qual integra a rede nacional de Centros de Ciência Viva. Também é considerado um marco de referência no desenvolvimento da modelação em geologia em Portugal. A Fig. II.3 representa um friso histórico de alguns geólogos que seguiram o exemplo de Hall no trabalho experimental com recurso à modelação, inclusive do professor Paulo Fonseca em Portugal.

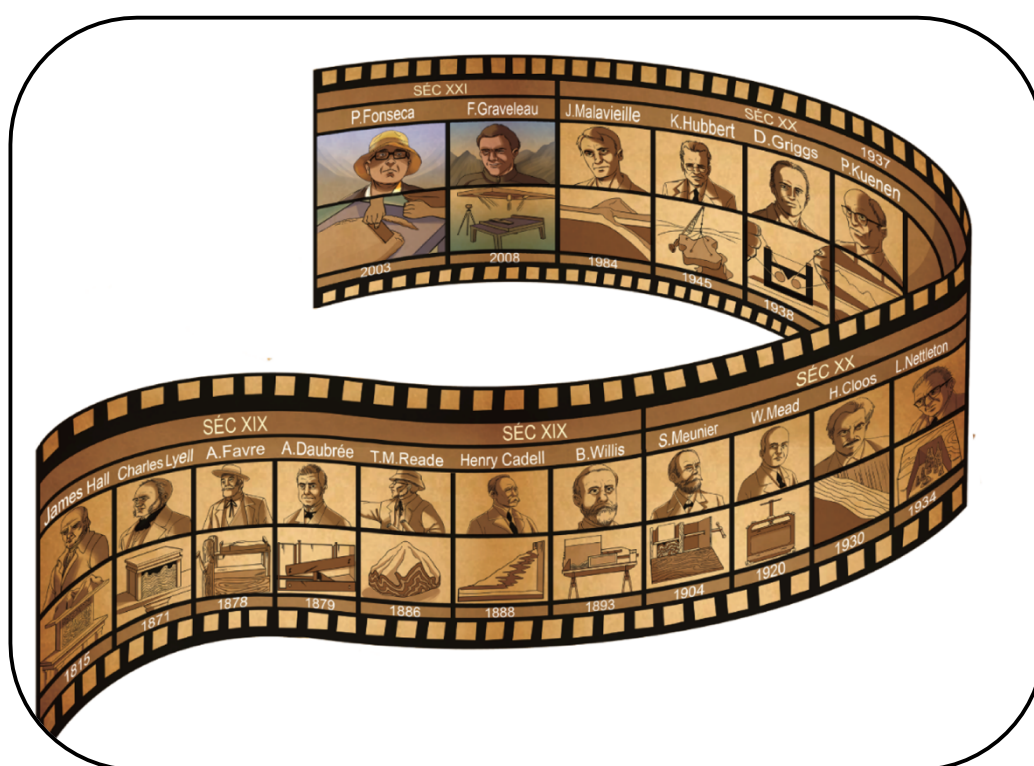


Fig. II.3. Referência a alguns investigadores que desenvolveram a modelação em geologia (adaptado de Vasconcelos et al., 2015, p.85).

Mas foi com James Hall, um químico e geólogo escocês (Fig. II.4)²¹, por muitos considerado o pai da geologia experimental (Ranalli, 2001; Oreskes, 2007; Newcomb, 2009), que se iniciou a construção de modelos para explicar o processo de formação de

²¹ Nationalgalleries.org. (s/d). James Hall. Disponível em URL: http://www.nationalgalleries.org/collection/artists-a-z/K/3763/artist_name/Angelica%20Kauffmann/record_id/2826, consultado em janeiro de 2016.

dobras, que este observou na costa de Berwic kshire, no sudoeste da Escócia (Gorceix, 1924). Foi discípulo de James Hutton²², tendo sido influenciado por este geólogo, que considerava que as rochas resultavam da solidificação do magma e da sua compressão a grandes profundidades. Hall, quis testar esta teoria através de modelos experimentais, mas teve a oposição de vários investigadores, incluindo J. Hutton. Com base na teoria huttoniana, segundo a qual o calor no interior do planeta era a causa dos processos geodinâmicos, Hall apontava as intrusões de granito como sendo a fonte das forças descritas anteriormente, e, de facto, acreditava que o seu modelo era uma representação fiel do que poderia ser esperado em casos semelhantes ocorridos na natureza (Koyi, 1997). No entanto, encontrou uma série de dificuldades, entre as quais, a probabilidade da fusão do quartzo ser muito inverosímil e a explicação de que a areia não se formaria através da compressão do arenito. Apesar de Hall valorizar as suas próprias experiências, muitos outros cientistas contestavam-nas de forma calorosa. O próprio Hutton duvidava do trabalho desenvolvido por Hall pois os processos da natureza ocorriam numa escala muito maior em comparação com a das experiências levadas a cabo por Hall. Deste modo, os trabalhos experimentais de Hall não podiam adequadamente serem transportados para a realidade.

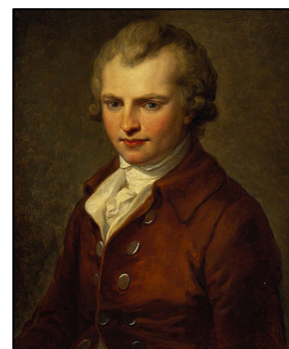


Fig. II.4. James Hall²²
(1761-1832).

O primeiro modelo (Fig. II.5)²³ documentado elaborado por Sir James Hall, em 1812, foi apresentado numa comunicação à Royal Society of Edinburgh. Hall (1812, citado em Willis, 1893) descreveu as suas primeiras tentativas de modelar dobras da seguinte forma: vários pedaços de pano, alguns de linho e lã foram espalhadas sobre uma mesa, uns por cima dos outros, cada peça de pano representando uma única camada, uma tábua de madeira foi então colocada por cima dos tecidos e pressionada com pesos; duas placas foram aplicadas verticalmente em cada uma das extremidades da massa estratificada e foram submetidas a uma força

²² (1726-1793). Defensor do plutonismo, foi o primeiro geólogo a aplicar métodos indutivos em geologia (Gorceix, 1924). Segundo a teoria huttoniana, “a subida do granito em fusão empurra, dobra e soergue as camadas depositadas no fundo do mar e fá-las emergir em rugas montanhosas que sofrerão em seguida os efeitos da erosão” (Gohau, p.108).

²³ Sabouraud, Brunet, Dick & Rotaru (s/d). James Hall. Disponível em URL: http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01_decouvrir/06_pionniers/00_intro.html, consultado em junho de 2011.

horizontal, no sentido de as aproximar. As extremidades dos estratos de pano foram aproximadas, constringindo-se até assumirem a forma de dobras, o que ilustrava a teoria da sua formação.

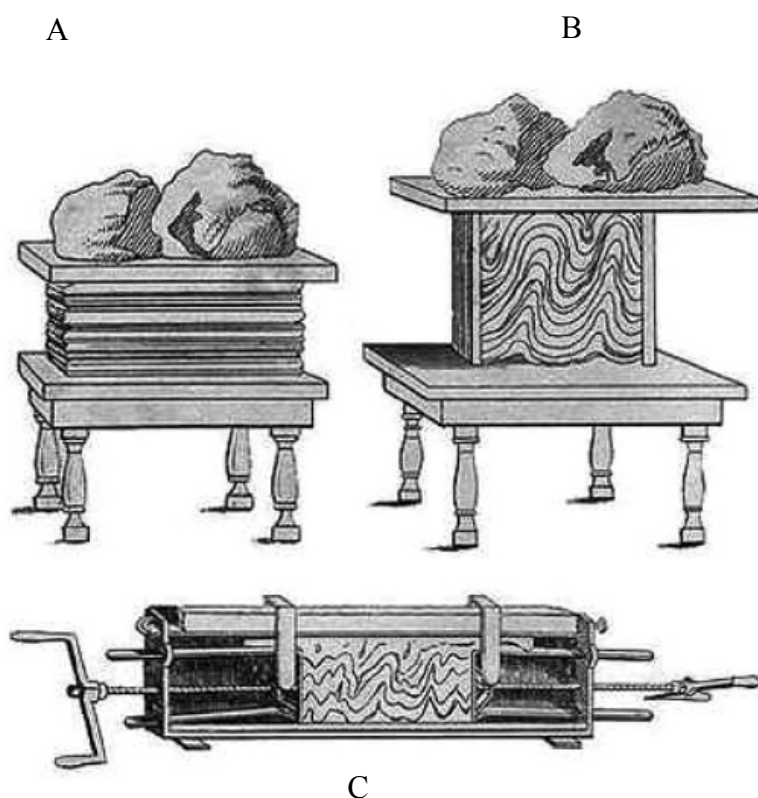


Fig. II.5: A e B- Primeiros modelos construídos por James Hall. C- Modelo de simulação construído por James Hall com uso de argilas para simulação dos estratos (Extraído de Sabouraud, Brunet, Dick & Rotaru²³, s/d.)

Mais tarde, Hall propôs um modelo (Fig. II.5C) que consistia na aplicação de uma força horizontal, mantendo um dos lados do modelo estático. O referido modelo possuía uma certa versatilidade, o que permitia, ainda, a aplicação de duas forças laterais opostas, sobre um conjunto de rochas (geralmente as argilas simulavam diferentes estratos) com diferentes durezas, sempre sujeitas a uma pressão vertical que simulava o peso dos sedimentos subjacentes (Koyi, 1997). Na fig. II.6 encontram-se representadas as dobras resultantes do experimento de Hall.

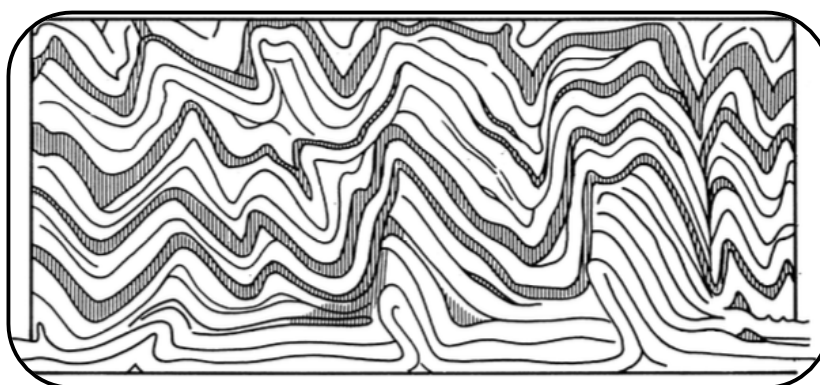


Fig. II.6- Dobras resultantes do modelo de Hall (Extraído de Ranalli, 2001, p. 71)

Segundo Hutton, os seus modelos, não respeitavam o tempo, nem o espaço real em que cada fenómeno ocorria. (Oreskes, 2007). A crítica elaborada por Hutton, foi baseada principalmente na convicção de que as condições extremas de temperatura e pressão no interior da Terra não podiam ser recriadas usando modelos tão pequenos. Esta conceção de que a geologia teria de permanecer uma ciência de observação, foi predominante durante o século XIX, sendo uma ciência incapaz de intervir e prever a ocorrência de fenómenos geológicos (Brandstetter, 2011). Contudo, este modelo tornou-se um protótipo do modelo físico de formação de montanhas usado durante longo período de tempo (Oreskes, 2007).

A formação das cadeias montanhosas tornou-se, durante o séc. XIX, um enigma e motivo de estudo por vários geólogos da época. Alphonse Favre, geólogo suíço (Fig. II.7)²⁴, nasceu e morreu em Genebra, tendo mesmo exercido docência em geologia na Academia de Genebra. Em 1878, percebeu que na formação de dobras existiria a contração por arrefecimento do núcleo da dobra. Para simular a sua hipótese criou um modelo (Fig. II.8)²⁵ no qual estendeu horizontalmente uma tira de borracha, presa a duas estacas verticais. Assentes na borracha colocou diversos estratos

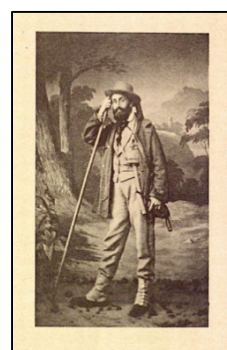


Fig. II.7. Alphonse Favre²⁴ (1815-1890).

²⁴ Lecture (s/d). Alphonse Favre. Disponível em URL:

http://www.lectura.fr/expositions/payot/galleries/gal_chap3_p1/img11.jpg, consultado em janeiro de 2016.

²⁵ Sabouraud, C.; Brunet, C., dick, P., & Rotaru, M. (s/d). *Les pionniers de la modelisation*. Dossier Sagascience GéoManips. Disponível em URL: http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01_decouvrir/06_pionniers/00_intro.ht m., consultado em junho de 2011.

formados por argila com cerca de 25 mm, sem qualquer suporte lateral, ao longo de uma banda de borracha esticada.

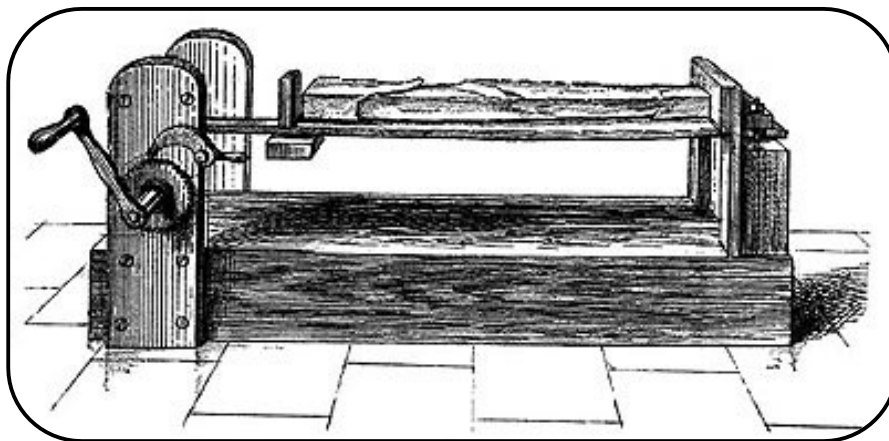


Fig.II.8. Modelo de Favre para a simulação da formação de dobras. (Extraído de Sabouraud et al.²⁵, s/d).

Ao permitir que a banda de borracha retomasse o seu comprimento original, os estratos de argila dobrariam, verificou a formação de pequenas dobras, com cerca de 3-4 cm de altura, (Fig. II.9) e formariam estruturas semelhantes às que Favre observou em Jura Mountains, cordilheira sub-alpina localizada a norte dos Alpes ocidentais (Gorceix, 1924).

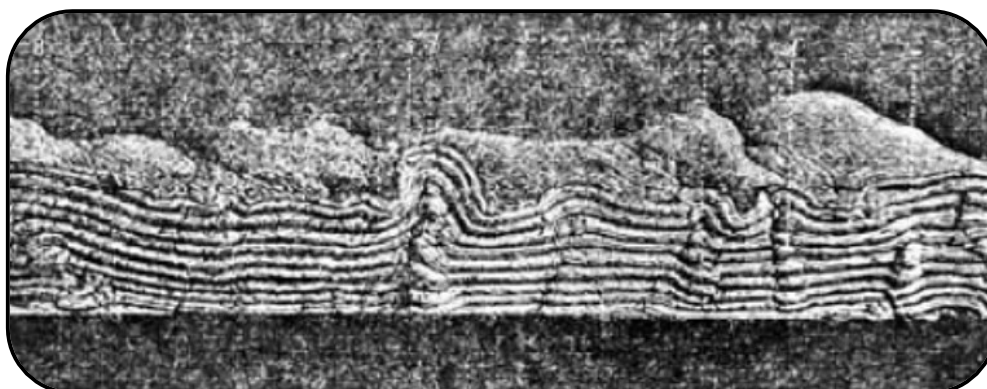


Fig. II.9. Modelo construído por Alphonse Favre para testar de que forma a contração da crosta terrestre contribui para a formação de montanhas (Extraído de Favre, 1878, citado em Anónimo, 1878, p. 104).

Mediante os resultados obtidos concluiu que a compressão lateral poderia ser um efeito colateral da contração, nesse caso as dobras produzidas projetavam-se numa direção ascendente para a formação de montanhas (Oreskes, 2007).

Favre também verificou que, alterando os parâmetros experimentais, tais como a variação da espessura das camadas e a adição de água às camadas de argila, obtinha resultados diferentes. O autor colocou, na borracha e debaixo da camada de argila, dois cilindros de madeira, a e b, com cerca de 35 mm de raio. Estes cilindros foram colocados a cerca de 20 cm da extremidade da camada de argila, e à mesma distância um do outro. Antes da compressão a camada de argila tinha uma espessura de 45 cm. Antes da compressão, a superfície da camada de argila, assim como os estratos, eram completamente horizontais. A pressão deu origem no topo do cilindro, a, a um vale, em d, formado por uma torção dos leitos para a direita, e formou-se, ainda, uma pequena montanha, c (Fig. II.10).



Fig. II.10. Representação da estrutura geológica que se forma quando é exercida pressão sobre estratos terrestres humedecidos, depositados no fundo do mar, entre duas montanhas já solidificadas (Extraído de Favre, 1878, citado em Anónimo, 1878, p. 104).

Para Favre, o mais importante era o sucesso do modelo na capacidade de explicar as estruturas formadas, que: *“parecem similares àquelas das colinas e montanhas, que podem ser observadas em vários países”* (Favre, 1878, citado em Anónimo, 1878, p. 104) Por outras palavras, o modelo suportou a plausibilidade da sua hipótese (Oreskes, 2007).

Ainda segundo Oreskes (2007), Stanislas Meunier, em 1899 na sua obra “La geologie expérimentale”, critica Favre referindo que este obteve dobras sinclinais e anticlinais, mas que se ocupou pouco com a observação de falhas. Constatou, ainda, que na experiência ocorreram falhas inversas, mas que Favre não estudou as conjugações das fraturas, referindo que esta foi, provavelmente, uma das principais lacunas reconhecidas do seu trabalho.

Auguste Daubrée, geólogo francês e diretor da Escola Nacional de Minas (Fig. II.11)²⁶ publicou, em 1879, a sua obra *Études Synthétiques de Géologie Expérimentale*, na qual apresentou trinta anos de investigação.

Daubrée teve a ambição de tornar a geologia numa ciência positivista, permitindo aos geólogos obter princípios incontestáveis (Oreskes, 2007). Apesar da sua crença nos modelos para a promoção de uma ciência positivista, Daubrée reconhecia que os processos não eram fielmente reproduzidos devido a problemas de escala (Gorceix, 1924).

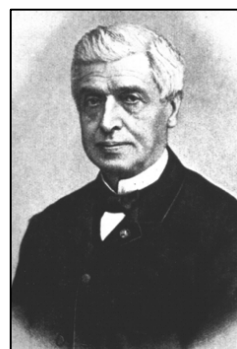


Fig. II.11. Auguste Daubrée²⁶ (1814-1896).

Os modelos de formação de montanhas (Fig. II.12, II.13 e II.14) não eram, portanto, demonstrações rigorosas, e certamente não eram réplicas, contudo provaram ser úteis na compreensão de determinadas possibilidades (Oreskes, 2007). Daubrée menciona que o reduzir as dimensões de fenómenos que ocorrem em grande escala não reproduz fielmente o que acontece na natureza apenas é fiável a geometria (Bolacha, 2014).

²⁶ G.E.G.M. (2009). Auguste Daubrée. Disponível em URL: http://www.gegm-france.org/nouveau_fichier_15.htm, consultado em janeiro de 2016.

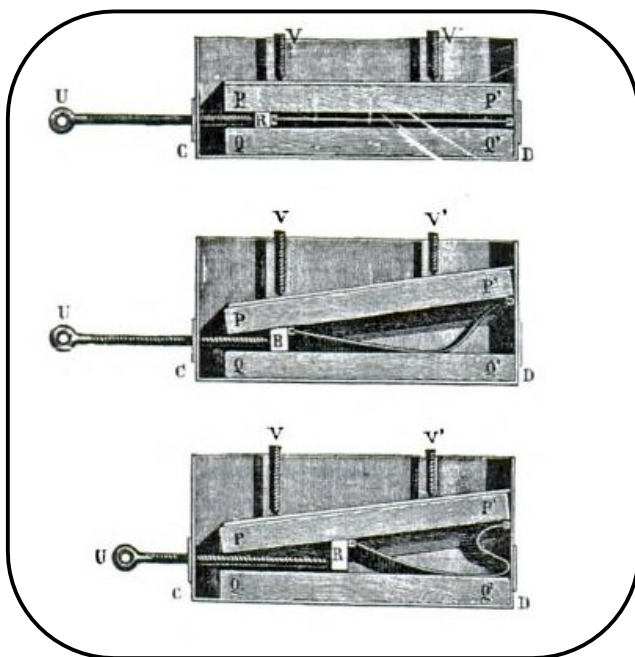


Fig. II.12. Caixa de compressão de Auguste Daubrée. A compressão de placas de metal produz dobras assimétricas simples (Extraído de Daubrée, 1879, p. 293).

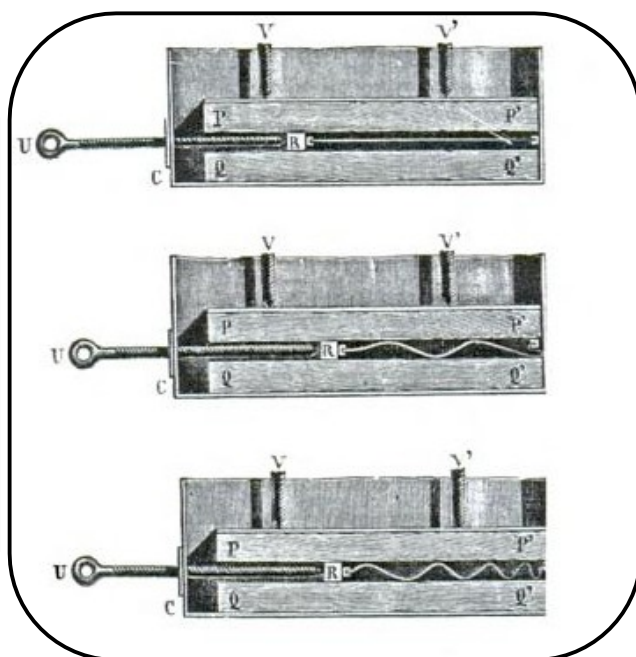


Fig. II.13. Caixa de compressão de Auguste Daubrée. Diferentes orientações das placas de metal produzem dobras simétricas. (Extraído de Daubrée, 1879, p. 295).).

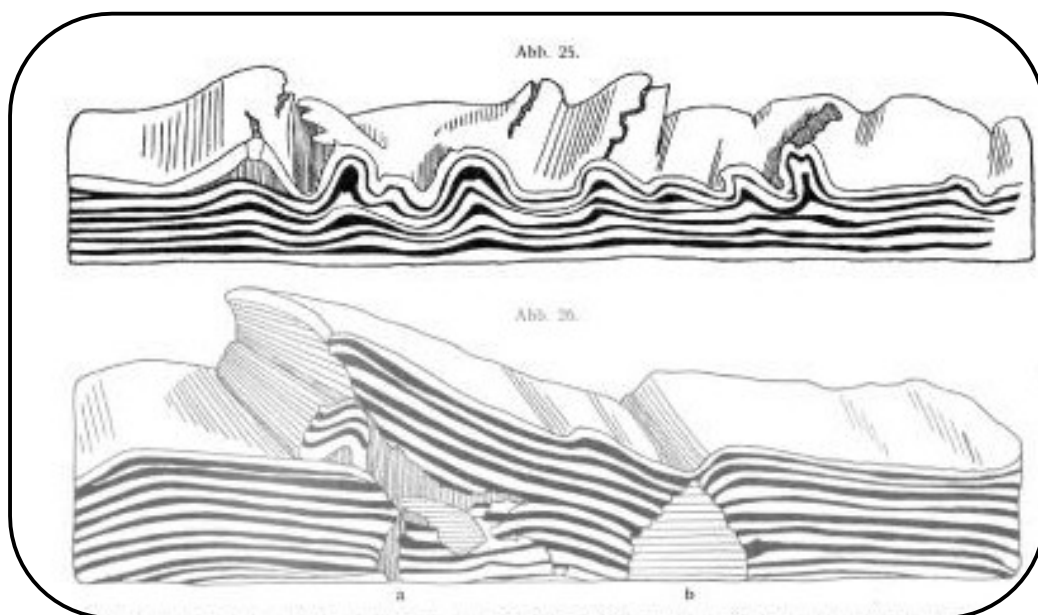


Fig. II. 14. Resultados obtidos por Auguste Daubrée (Extraído de Paulcke, 1912, p. 15).

A única diferença entre o trabalho de Favre e de Daubrée releva-se pelo comportamento do material utilizado. Enquanto Favre usou argila, Daubrée usou cera, de modo a simular um comportamento mais plástico das rochas (Gorceix, 1924).

É de realçar que quer Hall, quer Daubrée desenvolveram trabalhos nas duas áreas investigativas da geologia experimental do século XIX, a que se interessava pela formação de estruturas como as cadeias montanhosas (grandes dimensões) e falhas e dobras (pequenas dimensões) e a que se interessava pela génese de rochas e minerais.

Um ano depois da obra de Daubrée, Friedrich Pfaff, publicou, em 1880, a sua obra *Der Mechanismus der Gebirgsbildung*. Pfaff, realizou um trabalho, em Heidelberg, cidade alemã, sobre a plasticidade de rochas com elevada dureza. Mais tarde repetiu os modelos de compressão, sobre rochas com comportamento plástico dispostas de forma semelhante aos modelos desenvolvidos por Hall (1812, citado em Willis, 1893) (Fig. II.15, II.16 e II.17). Os estratos utilizados nestes modelos eram constituídos por argila e papel machê (Gorceix, 1924).

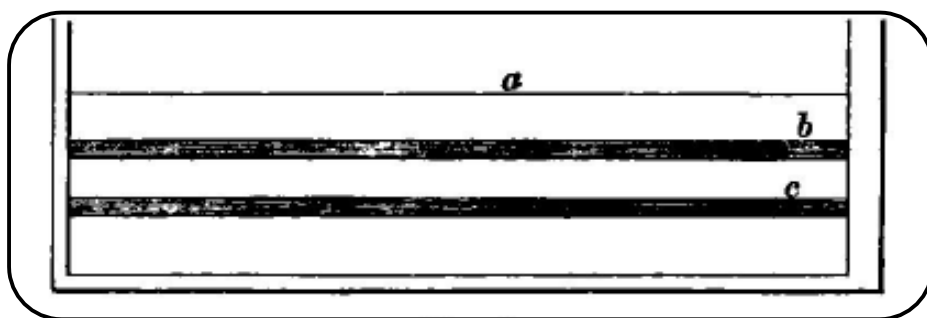


Fig. II.15. Modelo desenvolvido por Friedrich Pfaff. a) representa a argila no topo da caixa, b) e c) as folhas de papel machê. (Extraído de Pfaff, 1880, p.23).

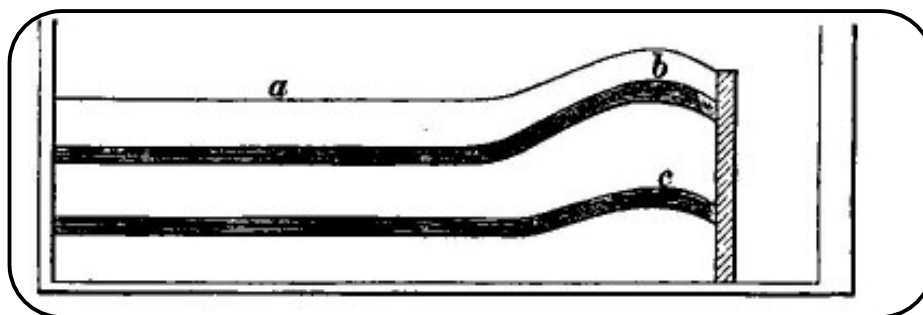


Fig. II.16. Movimento da argila e do papel machê quando se movimenta o parafuso que se encontra no lado direito (Extraído de Pfaff, 1880, p.23).

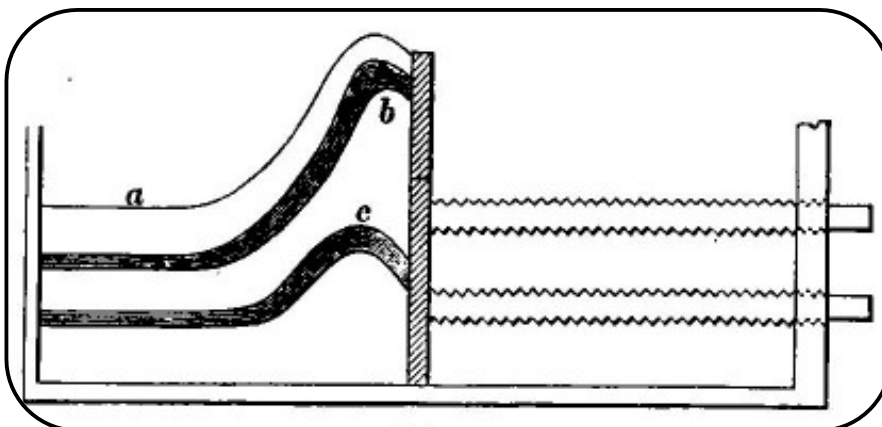


Fig. II.17. Formação das dobras originadas por compressão (Extraído de Pfaff, 1880, p. 23).

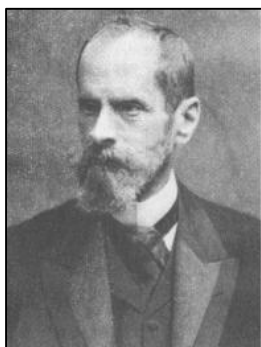


Fig. II.18. Philipp Forchheimer²⁷ (1852-1933).

Philipp Forchheimer, engenheiro civil austríaco (Fig. II.18)²⁷ estudou, no mesmo ano, 1880, a mesma questão abordada por Pfaff. Para tal, usou várias camadas de argila com diferentes níveis de plasticidade, as quais foram causadas por variações da humidade dos estratos e variações na proporção de areia. Contudo, os resultados obtidos não apresentaram qualquer interesse para o avanço do conhecimento nesta área (Gorceix, 1924).

Perfeitamente ciente de que, nos modelos desenvolvidos até à data, as camadas não estavam à escala, nem existia representatividade de outras condicionantes presentes no ambiente natural, tal facto motivou o autor a incluir estratos com diferentes propriedades, no seu modelo, para se aproximar mais das condições observadas na natureza (Gorceix, 1924).

Hans Schardt, professor suíço (Fig. II.19)²⁸, publicou em 1884, *Etudes sur le Geologiques Pays-d'Enhaut valdenses*.

²⁷ Michael J. (2012). This day in water history. Disponível em URL: <https://thisdayinwaterhistory.wordpress.com/2012/10/page/5/>, consultado em janeiro de 2016.

²⁸ ETH-Bibliothek Zürich. (2016). Hans Schardt. Disponível em URL:

No seu trabalho, deu continuidade às experiências desenvolvidas por Favre (1878, citado em Anónimo, 1978), mas com a alternância de camadas que



Fig. II.19. Hans Schardt²⁸ (1858-1931).

apresentavam diferentes durezas, entre outras variações (Fig. II.20²⁹ e II.21). A sua conclusão foi de que a geologia experimental não tinha contribuído para explicar fenómenos orogénicos. Schardt pensou que, com razão, as diferenças entre as estruturas das diversas regiões são mais amplas do que a simples natureza e disposições dos estratos, o que o motivou a realizar diversas experiências. Perfeitamente ciente de que, nos modelos desenvolvidos até à data, as camadas não estavam à escala, não havia representatividade do peso nem tinham em conta outras condicionantes presentes no ambiente natural, no seu modelo, alternou camadas rígidas de argila com diferentes

propriedades (Gorceix, 1924).

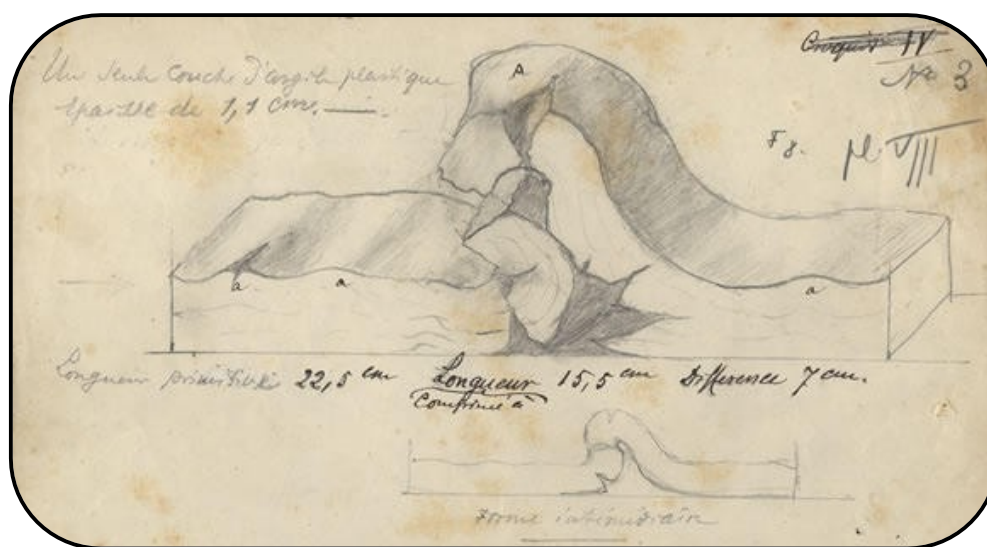


Fig. II.20. Esboço original da dissertação de Hans Schardt, Etudes sur le Geologiques Pays-d'Enhaut valdenses, em 1884. Realce para as anotações referentes às dimensões do modelo construído por Schardt (Extraído de ETH²⁹, 2016).

<http://www.library.ethz.ch/Ressourcen/DigitaleKollektionen/Kurzportraits/HansSchardt-1858-bis-1931>, consultado em março de 2016.

²⁹ ETH-Bibliothek Zürich. (2016). Hans Schardt. Disponível em URL:

<http://www.library.ethz.ch/Ressourcen/DigitaleKollektionen/Kurzportraits/HansSchardt-1858-bis-1931>, consultado em março de 2016.

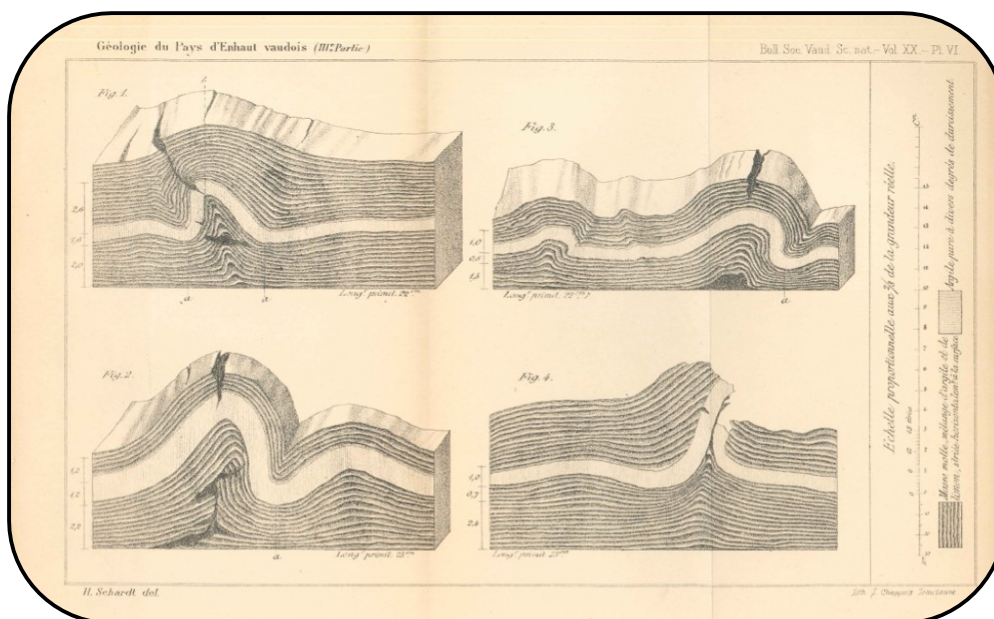


Fig. II.21. Resultados da modelação apresentados na dissertação de Hans Schardt, *Etudes sur le Géologiques Pays-d'Enhaut valdenses*, em 1884. Formação de dobras resultantes da reação da compressão de séries de camadas de argila, dispostas horizontalmente, com plasticidade diferente (Extraído de Schardt, 1884, p. 214).

Dois anos depois, Mellard Reade geólogo, arquiteto e engenheiro civil inglês (Fig. II.22)³⁰, publicou em 1886, *The Origin of Mountain Ranges* e em 1903, *The Evolution of Earth Structure*.

Seguiu de perto o trabalho de A. Daubrée (1879), tendo-se focado na elevação vertical ao invés da compressão lateral. Deste modo, M. Reade propôs que as montanhas resultam de uma elevação superficial causada por expansão termal na camada sedimentar subjacente. Para além disso, M. Reade estava interessado no papel da compressão lateral na geração de dobras, contudo pretendeu contrariar as experiências anteriores por lhe parecerem irrealistas, uma vez, que apenas consideravam a compressão localizada e não globalmente distribuída.



Fig. II.22. Thomas Mellard Reade³⁰ (1832-1909).

³⁰ University of Liverpool. (s/d). Thomas Mellard Reade. Disponível em URL: <http://liv.ac.uk/library/sca/collDESCS/readetm.html>, consultado em janeiro de 2016.

Este constitui o principal tema do seu segundo livro, publicado em 1903. Numa série inovadora de experiências, testou (Fig. II.23) a resposta do modelo de camadas de compressão geral de uma banda de zinco de dois centímetros de largura (Oreskes, 2007).

O compressor circular de Reade constituiu um desafio para Bailey Willis (1893) e Henry Cadell (1888) (Oreskes, 2007), que construíram modelos que tentassem explicar o comportamento dúctil das rochas.

Contudo, antes de se debater com a representatividade dos modelos construídos pelos seus antecedentes, na sua obra publicada anteriormente à referida, em 1886, *The Origin of Mountain Ranges: Experimentally, Structurally, Dynamically, and in relation to their Geological History*, usou modelos semelhantes aos construídos anteriormente por outros autores, como J. Hall (1812, citado em Willis, 1893), A. Favre (1878, citado em Anónimo, 1878) e A. Daubrée (1879), para estudar as estruturas geológicas formadas após a atuação de forças distensivas (Fig. II.24) e, também, compressivas (Fig. II.25).

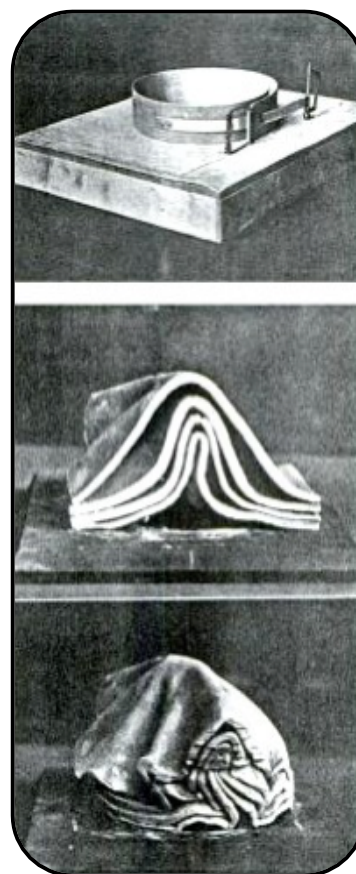
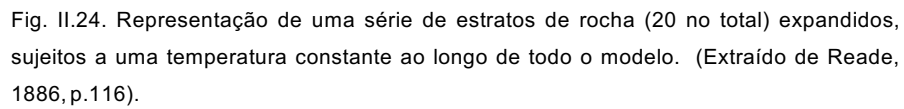


Fig. II.23. Compressor circular de Thomas Reade, elaborado para simular os efeitos da contração (Extraído de Oreskes, 2007, p. 101).



The image contains three geological diagrams labeled A, B, and C, illustrating different types of folds and structural features.

- Diagram A:** Shows a cross-section of a fold. The layers are labeled 'a' through 'f' from top to bottom. The fold is an anticline, with the layers curving upwards. A line labeled 'A' indicates the axis of the fold. The layers are shown as being compressed together.
- Diagram B:** Shows a cross-section of a fold. The layers are labeled 'a' through 'f' from top to bottom. The fold is a syncline, with the layers curving downwards. A line labeled 'B' indicates the axis of the fold. The layers are shown as being compressed together.
- Diagram C:** Shows a cross-section of a fold. The layers are labeled 'a' through 'f' from top to bottom. The fold is an overthrust, with the layers being pushed over each other. A line labeled 'C' indicates the axis of the fold. The layers are shown as being compressed together.

Below the diagrams is a scale bar labeled "Scale to Figs 4 & 5." with markings from 0 to 12 inches.

Fig. II.25. Ilustração da experiência realizada sobre o movimento das rochas dispostas em estratos, por aplicação de variadas intensidades de pressão lateral. (Extraído de Reade, 1886, p.331).

O modelo era construído em madeira, aberto nas extremidades. Nestas extremidades foram montadas duas bandas de compressão deslizantes, cada uma formada por zinco. A pressão aplicada lateralmente atua nos diferentes estratos, constituídos por argila.

Até ao tempo relatado nesta cronologia, os modelos foram usados para coadjuvar a diferenciar diferentes teorias ou explicações. Enquanto Daubrée (1879) e Meunier (1899), como se referirá pormenorizadamente a seguir, se limitavam a reproduzir características morfológicas gerais, outros, como os construídos por James Hall (1812, citado em Willis, 1893) e Henry Cadell (1888), como será seguidamente descrito, tinham como objetivo simular as forças responsáveis por determinadas características específicas. Contudo, mais tarde foram necessárias leis de escala para que o modelo pudesse reproduzir os fenómenos naturais e as estruturas deles resultantes e, assim, permitir cumprir a ambição de analisar o comportamento dinâmico da formação de tais estruturas (Brandstetter, 2011).

Henry Cadell, geólogo e geógrafo escocês (Fig. II.26)³¹, denotou, em 1888, que uma das características mais distintivas de Northwest Highlands era a evidência de que as rochas apareciam fraturadas. Deste modo, as experiências de Cadell foram desenhadas para replicar o comportamento frágil das rochas, tendo apresentado à *Royal Society of Edinburgh* a sua investigação experimental sobre *Building Mountain*.

Tal como Favre (1878, citado em Anónimo, 1878) e Daubrée (1879), Cadell (1888) construiu uma caixa de compressão (Fig. II.27), tendo utilizado, numa experiência, gesso intercalado com areia colorida e noutras, solo intercalado com argila, ao invés de usar exclusivamente argila ou cera utilizados por Favre (1878, citado em Anónimo, 1878) e Daubrée (1879).

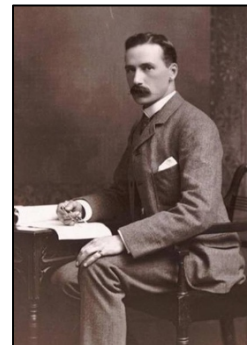


Fig. II.26. Henry Cadell³¹ (1860-1934).

³¹ Jardine, R. (s/d). Bo'ness pottery. Disponível em URL: <http://bonesspottery.co.uk/indp.html>, consultado em janeiro de 2016.



Fig. II.27. Fotografia de Cadell (1888) demonstrando o seu modelo, usado para deformar camadas de argila, e assim compreender a formação de estruturas de compressão. (Extraído de Cadell, 1888, p. 340).

Cadell mostrou-se satisfeito com o resultado, na medida em que este se assemelhava ao observado em campo. Assim, compilação dos resultados oriundos de diferentes experiências, com recurso a modelos de caixa de compressão (Fig. II.28 e II.29), permitiu a Cadell (1888) estruturar as seguintes conclusões:

- i) A pressão horizontal aplicada num ponto não é propagada homogeneamente ao longo de uma massa de estratos;
- ii) A massa de estratos compactada tende a encontrar alívio ao longo de uma série de superfícies de cavalgamento, suavemente inclinadas para o local onde é exercida pressão.
- iii) Após uma certa altura atingida pelas camadas, devido à compressão sobre elas exercida, a massa de rochas que forma o cavalgamento tende a subir e deslizar sobre as outras camadas assentes na superfície.
- iv) As superfícies de cavalgamento e as falhas inversas não se desenvolvem, necessariamente, por cisão de dobras pré-formadas, mas frequentemente formam-se

após e apenas por aplicação de pressão horizontal.

v) As superfícies de cavalgamento inferiores podem formar um anticlinal, e nunca atingir a superfície.

vi) A maior superfície de cavalgamento, pode, e provavelmente sempre, originar um dobramento inferior.

vii) Uma superfície de cavalgamento pode originar superfícies de cavalgamento menores.

viii) A porção frontal de uma massa de rochas a deslizar, ao longo de uma superfície de cavalgamento, tende a arquear e rolar sob a porção dianteira.

ix) Quanto maior a rigidez das rochas que compõem os estratos, melhor a exibição do fenómeno de cavalgamento.

x) Complexos de dobras e falhas podem-se formar a partir da compressão contínua de uma única dobra anticlinal.

xi) As superfícies de cavalgamento formam-se tendencialmente nos limites dos complexos de falhas e dobras.

xii) Os mesmos movimentos que intervêm na formação de complexos de dobras e falhas, promovem a formação da xistosidade das rochas.

xiii) A teoria da deformação uniforme de estratos explica a clivagem comumente encontrada em zonas mais profundas de um sistema de montanhas.

xiv) Esta teoria explica ainda a formação das estruturas geológicas que se podem encontrar nas cadeias montanhosas, assim como a própria formação orogénica.

Apesar de todas as conclusões interessantes que formulou, a ausência de sobrecarga foi um erro profundo na tentativa de simular tais fenómenos naturais (Gorceix, 1924; Oreskes, 2007).



Fig. II.28. Resultados da modelação desenvolvida por Cadell. Aplicação de uma pressão horizontal unilateral sobre estratos horizontalmente dispostos, apresentando um comprimento inicial de cerca de 1 metro e uma espessura de aproximadamente 12 centímetros (Extraído de Cadell, 1888, p. 340).

Na figura seguinte encontra-se uma representação esquemática dos resultados que foram obtidos por Cadell quando utilizou o modelo por si construído.

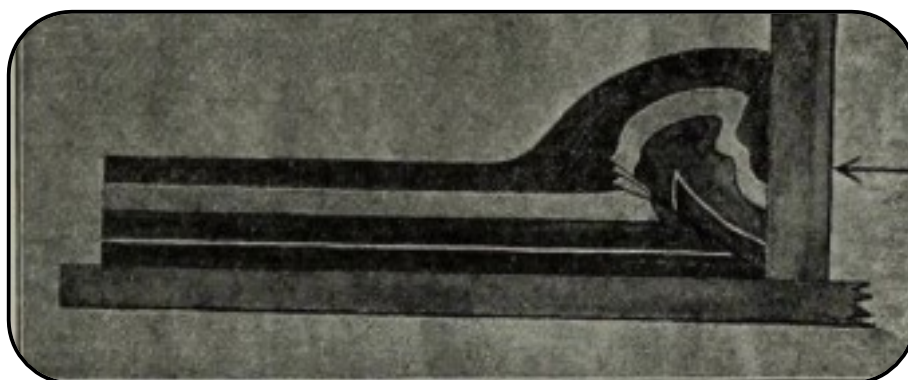


Fig. II.29. Representação esquemática dos resultados obtidos por Cadell na experiência anterior (Extraído de Cadell, 1888, p. 340).

Tal como Cadell (1888), B. Willis Bailey, que nasceu em Nova Iorque, tendo sido engenheiro civil e mecânico (Fig. II.30)³², interessou-se por características observadas no campo em Appalachians Mountains, nos EUA. Mapeou-as como geólogo a trabalhar na *US Geological Survey*. Aliado ao mapeamento feito e às experiências por ele levado a cabo, publicou o seu primeiro livro, intitulado *The Mechanics of Appalachian Structure*, em 1893.



Fig. II.30. Bailey Willis³² (1857-1949).

Willis (1893) considerava que dobrar, quebrar, cisalhar eram tudo fenómenos puramente mecânicos. Para tal, considerava ser necessária a aplicação de uma força superior à resistência interna do material que compõe o corpo sobre o qual atua. Logo, os fenómenos terrestres de formação de dobras e falhas, na sua ótica, obedeciam igualmente às leis da mecânica.

Em 1891, edificou um modelo depois de estudar as condições ideais para a sua construção. Mas durante este processo compreendeu o quão difícil seria reproduzir em proporção o observado na natureza. Esta questão tinha sido negligenciada por todos os seus antecessores na construção de modelos, exceto por Schardt.

Willis (1893) delimitou, assim as componentes que condicionavam a experimentação: (1) determinar quais as características e disposição iniciais dos estratos dobrados ou falhados e consequentemente determinar a sua resistência interna; (2) determinar em que condições foram aplicadas as forças externas e como foram transmitidas a todo o corpo; (3) determinar qual a origem da força com características qualitativas e quantitativas suficientes para provocar os resultados observados. Neste sentido, Willis referiu que o principal problema será compreender as proporções relativas de cada um dos elementos: as massas envolvidas são tão extensas, as forças atuantes vão além das medidas usuais para as medir; as nossas conceções habituais sobre resistência e rigidez de rochas são inúteis nesta situação (Willis, 1893, p.235).

B. Willis (1893) referiu, ainda, a necessidade de conhecer as propriedades do “suporte” da crosta terrestre. Esta, é heterogénea o que faz com que apresente resistência variável de um local para outro. Concluiu, ainda, que as camadas são mais simples de deformar do que os blocos e que a clivagem apresentada por algumas

³² Smith, C. (2005). Some Biogeographers, Evolutionists and Ecologists: Chrono-Biographical Sketches. Disponível em URL: <http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/WILL1857.htm>, consultado em janeiro de 2016.

rochas é resultante de forças compressivas, deduziu, então que a crosta terrestre é formada por milhares de camadas suficientemente flexíveis para serem deformadas (Gorceix, 1924). Definiu, também, os princípios de construção dos seus modelos (Willis, 1893):

1. O “apoio” da crosta é dotado de plasticidade latente;
2. Se as rochas maciças e os estratos compactos sofrem igualmente forças de deformação; os estratos sofrerão a maior deformação;
3. A relação entre a espessura e extensão de rocha estratificada é tal que toda a massa é flexível em vez de rígida;
4. A flexibilidade e fragilidade são em proporção inversa à da espessura das camadas e pode, para uma camada, serem equivalentes ao peso que suporta;
5. A transmissão da força de deformação é função da rigidez das camadas e do peso da carga.

Os princípios enunciados estavam de acordo com as leis da termodinâmica. Assim, definiu que para a construção de um modelo tectónico deverão ser tidos em conta (Willis, 1893):

1. A relação entre a espessura e comprimento dos estratos deve afastar-se ligeiramente da força que confere a rigidez necessária para o suporte do seu próprio peso, na posição horizontal;
2. O apoio dos estratos deve ser de plástico;
3. As forças compressivas devem ser moderadamente aplicadas e sua capacidade de deformação deve ser superior à resistência do material. Além disso, o dispositivo deve dar a possibilidade de variar a fragilidade e plasticidade de uma camada para outra, tal como na natureza. Algumas misturas podem ser usadas para aproximar a plasticidade exigida: a adição de gesso endurece, a terebentina de Veneza amacia, para que possamos chegar a ter uma gama bastante ampla de plasticidade.

Defendeu, ainda, que se deverá operar a uma temperatura constante, para evitar alterações no fluxo de calor em certos materiais. Mesmo que as condições anteriormente referidas sejam respeitadas, haverá sempre uma diferença entre a natureza e os modelos (Willis, 1893; Gorceix, 1924; Oreskes, 2007).

Tendo em conta os parâmetros apresentados e a escala, Willis constrói um modelo (Fig. II.31) com 1 metro de comprimento e 0,168 metros de largura e 0,33 m de altura, os lados são amovíveis e o êmbolo muito longo (Willis, 1893; Gorceix, 1924).

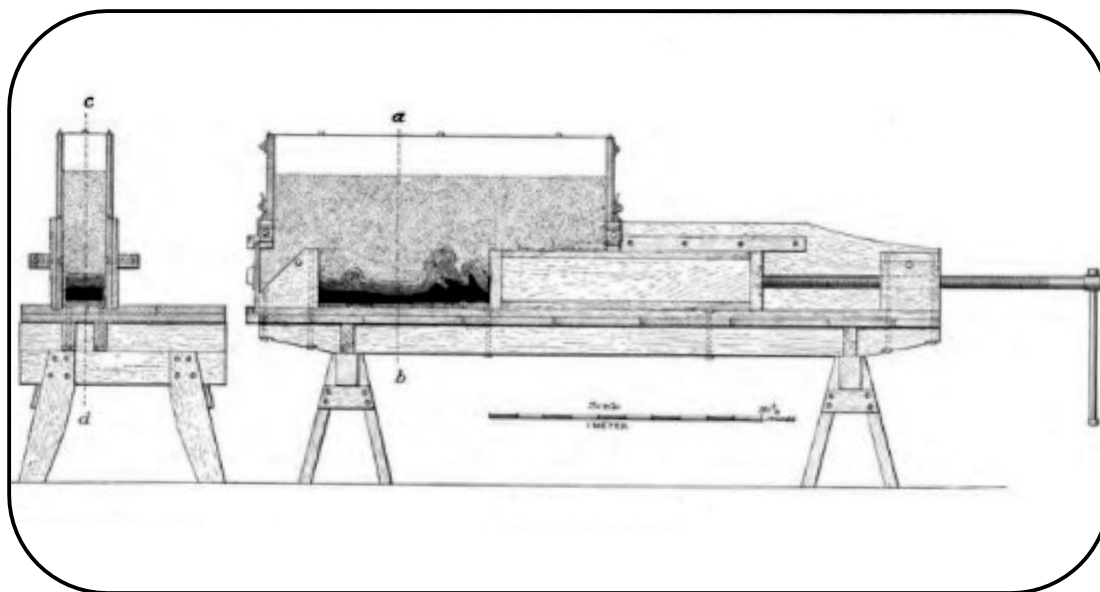


Fig. II.31. Modelo de B. Willis. As camadas de argila são uniformemente empilhadas verticalmente e comprimidas por uma carga de chumbo. A compressão lateral é exercida pelo êmbolo da direita (Adaptado de Willis, 1893, p. 259).

Da sua experiência deduziu que o efeito da compressão é inicialmente o de redução de volume e de mudança de forma, o que pode ocorrer em diferentes configurações, dependendo do modo de transmissão da pressão, relacionado com o comportamento reológico do material (Gorceix, 1924). Willis, variou os parâmetros das camadas para tentar determinar a influência da espessura do estrato, de carga e as variações na plasticidade. Os resultados revelaram-se consistentes: um anticlinal formava-se sempre no lado mais próximo do pistão (Fig. II.32). Na presença de irregularidades no início da experiência, a dobra formava-se do lado da irregularidade. Quando irregularidades ocorriam em mais do que uma camada, as da camada mais firme controlavam a localização da dobra. Para Willis, os modelos eram guias para leis da natureza de outra forma inacessíveis (Willis, 1893; Oreskes, 2007; Gorceix, 1924).

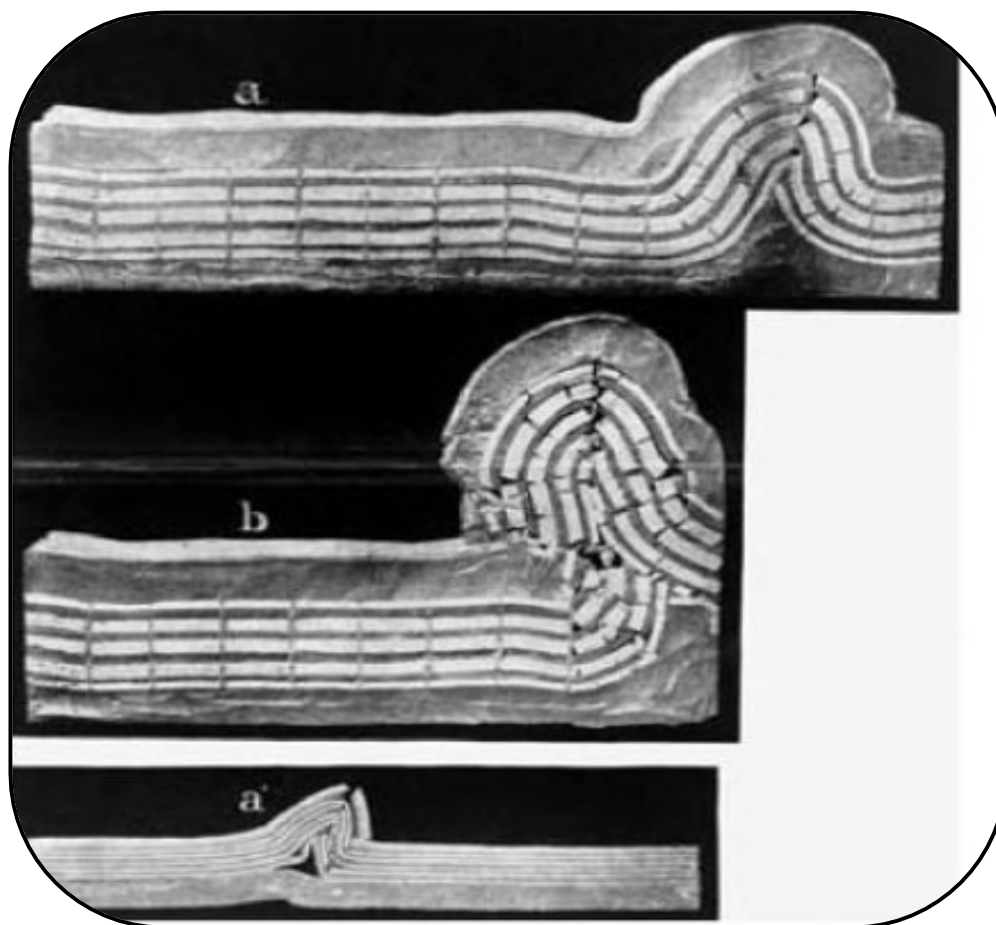


Fig. II.32. Ilustração das deformações obtidas com o modelo experimental de B. Willis (Extraído de Oreskes, 2007, p. 104).

Em 1893, Willis publicou os resultados das suas experiências com a caixa de compressão para permitir uma discussão sobre as leis desenvolvidas pelo estudo experimental e sua aplicação aos fenómenos naturais. Ao contrário de H. Cadell (1888), Willis usou material suave, argumentando que comparativamente à força da massa terrestre as rochas teriam um comportamento semelhante ao da cera (Oreskes, 2007).

Contudo, Willis foi criticado, uma vez que imitar as estruturas naturais não prova uma determinada explicação. Mas Willis acreditou que poderia fazer melhor, já que para o geólogo, as leis da natureza aplicar-se-iam igualmente bem na escala da terra como na escala de uma caixa de compressão (Oreskes, 2007).

Nos seus últimos trabalhos, no início do século XX, supôs que a força envolvida no processo descrito anteriormente se devia ao aumento das bolsas de magma que se originavam como consequência da radioatividade e que provocava uma pressão lateral

nos estratos devido à expansão das rochas (Cruz, 2008).

Assim, as primeiras publicações sobre modelação de estruturas geológicas formadas durante a compressão foram feitas por Cadell (1888) e Willis (1893), os quais construíram caixas de compressão para serem estudadas falhas e dobras. Estes modelos, ilustrados há mais de um século atrás, demonstram o potencial das técnicas de modelação para a compreensão das estruturas geológicas. As dobras, experimentalmente produzidas, eram muito semelhantes às observadas nas montanhas de Appalachian e Jura, indicando assim a importância das forças compressivas laterais na sua formação. Cadell (1888) e Willis (1893) estudaram modelos em camadas, em que as propriedades mecânicas de cada camada eram contrastantes e eram usados como marcadores de tensão ativos. (Koyi, 1997).

Reyer, entre 1892 e 1894, estudou sobre deformações com diversas inclinações, não tendo obtido grandes resultados. A força de compressão aplicada aos estratos foi direcionada paralelamente com a componente de gravidade e ao plano das camadas, em seguida, oblíquas, de modo que já não era perpendicular à direção vertical. Contudo, estas não eram condições naturais. Daí, a falta de sucesso do seu trabalho (Gorceix, 1924).



Fig. II.33. Stanislas Meunier³³
(1843-1925).

Stanislas Meunier, geólogo francês, (Fig. II.33)³³ começou, em 1864, a trabalhar como assistente naturalista de A. Daubrée. Continuou a pesquisa sobre geologia experimental conduzida por A. Daubrée (1879), e em 1899 publicou a obra “*La Géologie Expérimentale*”.

Meunier examinou o procedimento experimental de J. Hall (1812, citado em Willis, 1893) e produziu os seus modelos (Fig. II.34) para estudar a formação de montanhas. O seu modelo consistiu numa caixa de madeira sem tampa e sem a parede frontal, encontra-se articulado na parte inferior podendo ser dobrado horizontalmente (C). Num dos lados

³³ Centre National de la Recherche Scientifique (s/d). Les pionniers de la modélisation. Disponível em URL: http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01_decouvrir/06_pionniers/08a.htm, consultado em janeiro de 2016.

passa um parafuso sólido (V) que é incorporado num grande pedaço de madeira (T), o qual se pode mover ao longo do comprimento da caixa. Uma rolha (B) é disposta na parede oposta à que mantém o parafuso e no fundo da caixa são colocadas folhas (F), que representam as camadas do solo. Depois de colocar um peso (P) em cima das folhas, suportado por uma placa, e de girar o parafuso de forma a que exista movimento lateral verificou que o papel dobra imitando as dobras que são observadas na crosta terrestre (Meunier, 1899).

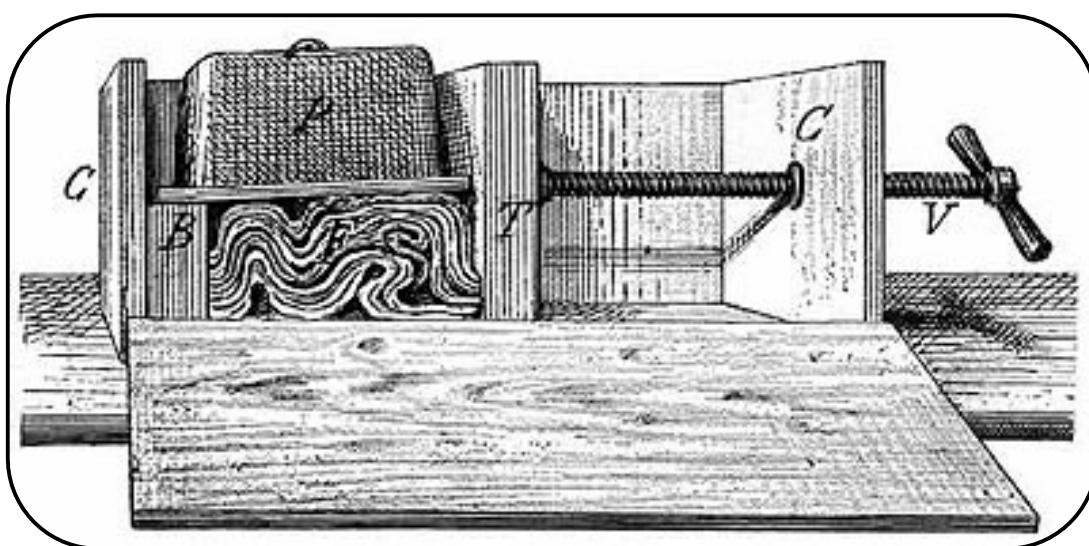


Fig. II.34. Primeiro modelo para estudar as dobras de Stanislas Meunier (Extraído de Meunier, 1899, p. 279).

A Fig. II.35 representa, entre outros aspetos, o efeito obtido através de uma certa disposição das folhas: apesar de ser exercida uma pressão uniforme, as dobras não são idênticas ao longo do comprimento. Há até mesmo uma folha separada para a direita que faz lembrar situações frequentes nos Alpes e noutras cadeias montanhosas (Meunier, 1899).

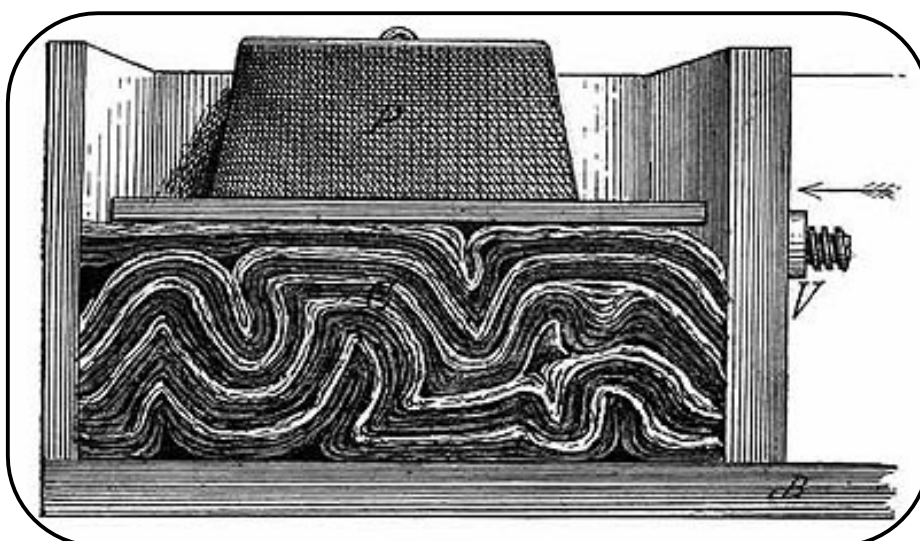


Fig. II.35. Dobras obtidas pelo modelo se existir uniformidade de pressão ao longo do aparelho (Extraído de Meunier, 1899, p. 280).

Na Fig. II.36, está representado um exemplo de resultados complicados que se obtêm noutras zonas, como por exemplo Dent du Midi, uma cadeia montanhosa situada no cantão suíço de Valais, através de pressão exercida obliquamente.

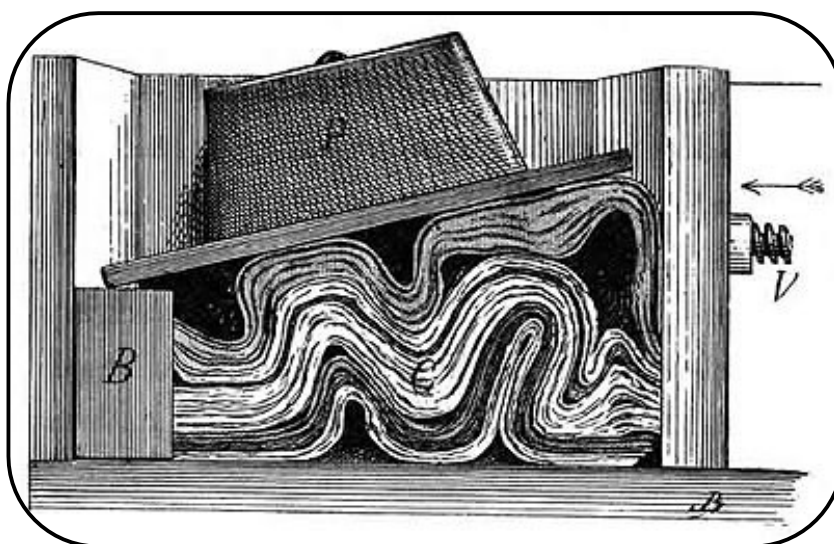


Fig. II.36. Dobras obtidas pelo modelo se não existir uniformidade de pressão ao longo do aparelho (Extraído de Meunier, 1899, p. 281).

Meunier (1899), reconheceu que A. Favre (1878, citado em Anónimo, 1878) foi bem-sucedido ao realizar a ligação entre a realidade e o modelo, pois em vez de utilizar

o parafuso de J. Hall, no gerador de dobras, utilizou borracha retrátil, por considerar a sua maior representatividade em relação aos parafusos (Fig. II.37).

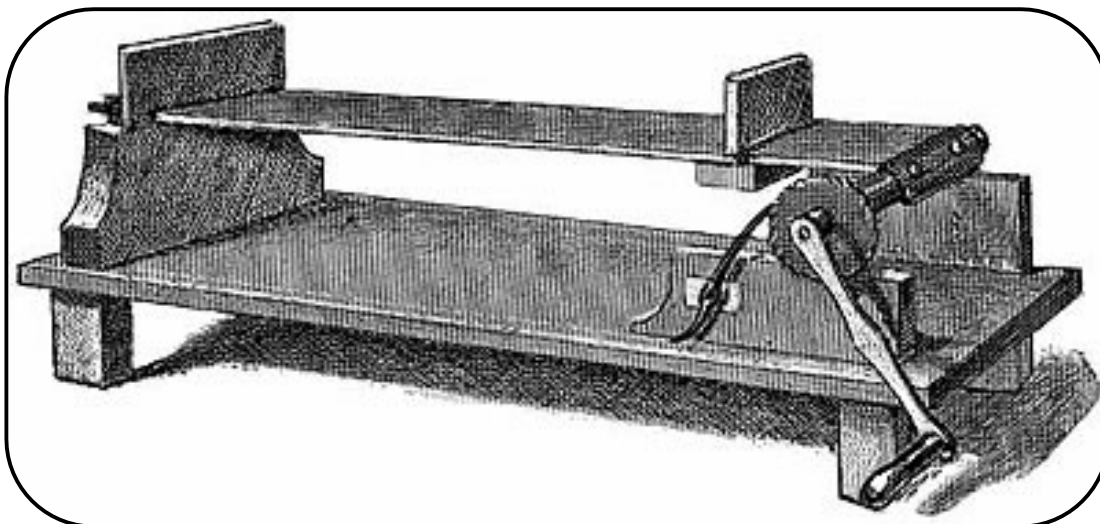


Fig. II.37. Aparelho, utilizado por A. Favre (1878), para a formação de dobras pela contração da borracha distendida (Extraído de Meunier, 1899, p.281).

Nos modelos experimentais de Meunier (1899), em algumas dobras, houve a interseção de planos de fratura, no entanto, essas falhas artificiais não eram comparáveis com nenhuma região em particular. As fraturas, em algumas experiências, eram produzidas por compressão o que levou o autor a rejeitar o modelo das fraturas de Daubrée (1879) produzidas por torção.

Depois dos modelos desenvolvidos pelos suíços, franceses e anglo-saxões, na Alemanha surgiram outros cientistas que, contudo, não realizaram nenhum progresso significativo.

Linck, em 1902, inaugurou uma nova visão para a divulgação da modelação, tratou-se, principalmente, na criação de uma unidade de modelação para o uso alargado em laboratórios, para além de barato, possuía um vidro, ideal para acompanhar e registar os acontecimentos. As camadas eram formadas por placas de gelatina, amaciadas pela adição de água (Gorceix, 1924).

Oito anos depois, Blacs, 1910, seguiu o precedente, desta forma, mantendo um

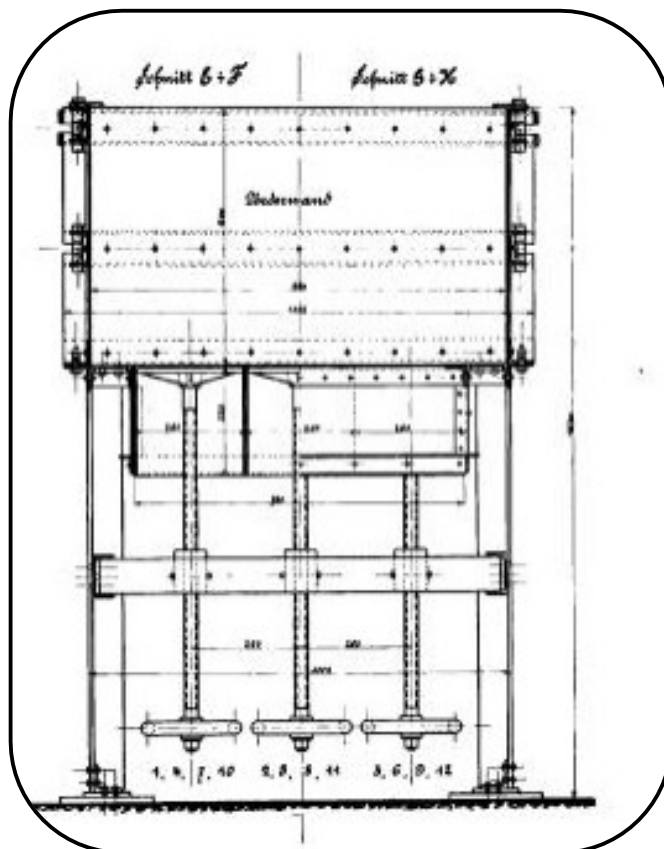
registo mais comercial do que científico, alguns anos mais tarde, substituiu as camadas de gelatina por diferentes substâncias coloridas misturadas com gesso. A ciência natural não ganhou nada com as referidas mudanças, apenas conquistou dispositivos mercantis (Gorceix, 1924).

Foi em 1912 que Wilhelm Paulcke, geólogo alemão (Fig. II.38)³⁴, inspirado pelas ideias de B. Willis construiu um modelo (Fig. II.39) colossal, com o qual poderia, obviamente, obter todos os efeitos desejados (Gorceix, 1924).

O seu modelo construído em aço, consistia numa caixa que podia ser desmontada, com 1,99 metros de comprimento, 0,98 metros de largura e 0,60 m de altura. A parte inferior era formada por 12 placas quadradas contíguas associadas a parafusos que podiam aumentar ou diminuir o modelo, com um dispositivo semelhante aos êmbolos usados por Bailey Willis (1893) (Gorceix, 1924). Para a simulação de estratos, as camadas eram formadas por gesso e argila (Gorceix, 1924).



Fig. II.38. Wilhelm Paulcke³⁴
(1873-1949).



³⁴ Grundschule an der Paulckestraße (2016). Grundschule an der Paulckestraße

Wir leben gemeinsam gemeinsame Werte. Disponível em URL: http://www.gs-paulcke.musin.de/?page_id=175, consultado em março de 2016.

Fig. II.39. Modelo de Paulke (Extraído de Paulke, 1912, p.81).

Obviamente as placas colocadas no fundo do modelo poderiam produzir colapsos que variavam a monotonia do efeito de simulação das formações das estruturas (Fig. II.40), mas não era claro que o modelo fosse análogo à crosta terrestre. Quanto ao resto, era semelhante às ideias já apresentadas por B. Willis (1893) (Gorceix, 1924).

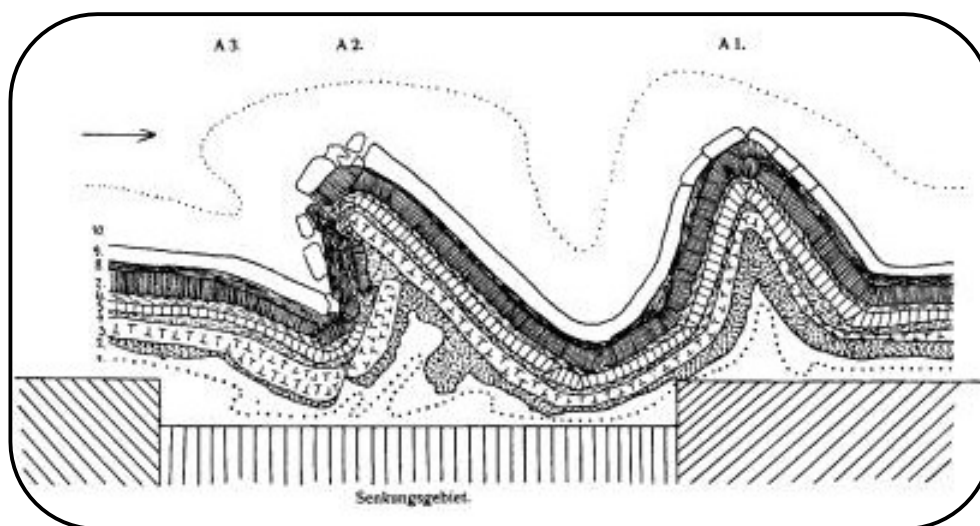


Fig. II.40. Resultados obtidos por Paulke (Extraído de Paulke, 1912, p.83).

Diferentes estratégias foram desenvolvidas para legitimar o uso de modelos, garantindo a sua representatividade. As características análogas de um modelo foram autenticadas por pressupostos derivados da própria geologia. A investigação sobre o comportamento de massas sólidas sob grande pressão mostrou que estas poderiam comportar-se como fluidos viscosos e estudos microscópicos de secções finas de diferentes rochas levaram Albert Heim a formular a teoria de que a rocha se comporta como um fluido (Koyi, 1997).

Albert Heim, geólogo suíço (Fig. II.41)³⁵ foi laureado com a medalha Wollaston da Sociedade Geológica de Londres em 1904.



Fig. II.41. Albert Heim³⁵
(1849-1937).

Em 1878 publicou a sua obra *Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi- Windgällengruppe*. As conjeturas referidas anteriormente, presentes na sua obra, ajudaram a validar o uso de materiais leves, como a argila, para reproduzir processos geológicos. Estas conjeturas referiam-se, não apenas a um determinado fenómeno natural, mas também à relação entre a natureza e modelo. Contudo, estes pressupostos foram amplamente contestados, pois poderiam ser refutados, e a sua aplicação fora baseada em inferências, tornando-os incapazes de apoiar o uso de modelos na geologia. No início do século XX foram desenvolvidos os algoritmos operacionais. Estes originados da mecânica dos fluidos, onde, desde o século XVIII e XIX, eram aplicados na construção civil. No decorrer do desenvolvimento da engenharia foram desenvolvidos métodos para garantir a representatividade de um modelo baseado na semelhança de comportamento reológico. Embora tais leis de escala tenham sido largamente utilizadas no contexto da engenharia, a partir da segunda metade do século XIX em diante, na geologia não foram antes de 1913, quando Johann Koenigsberger (1874-1946) e Oskar Morath (s/d) publicaram um documento sobre fundamentos teóricos da tectónica experimental (Koenigsberger & Morath, 1913). Esta teoria postulava que uma qualquer substância podia ser definida por propriedades físicas, comprimento, massa e tempo. Atribuindo um valor numérico exato a cada uma das propriedades e um fator de escala, em seguida, todas estas medidas podem ser derivadas e adequadas a um modelo. Estas leis de escala foram baseadas em análises dimensionais e sua aplicação não se restringiu à geologia, mas foi realizada para validar todos os fenómenos físicos.

Estas teorias de escala não derivaram de resultados empíricos na geologia, mas sim correspondem a princípios *à priori* que fornecem os algoritmos para obter o valor dos diferentes parâmetros do modelo a construir. A partir de então, a escolha do material a ser utilizado no modelo não assentava sobre analogias vagas com base em conclusões empíricas, tais como a analogia entre a plasticidade de rochas consolidadas

³⁵ Institute of Cartography and Geoinformation (2006). Terrain models. Disponível em URL: <http://www.terrainmodels.com/heim.html>, consultado em janeiro de 2016.

e argila, mas podiam ser derivadas de antemão por simples operações matemáticas. Tais operações matemáticas escalares formalizadas transformaram a modelação numa representação de fenómenos naturais (Brandstetter, 2011).

King Hubbert, geocientista (Fig. II.42)³⁶, trabalhou num laboratório de investigação da Shell, em Houston, Texas. Escreveu, em 1937, *Theory of Scale Models as Applied to the Study of Geological Structures*, o seu primeiro livro de regras sobre dimensionamento/ escala.

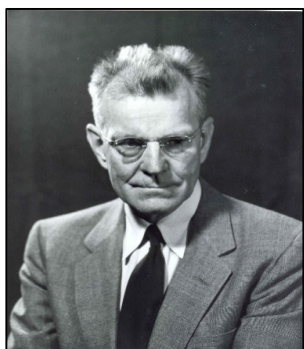


Fig. II.42. King Hubbert³⁶
 (1903-1989).

Neste, evidenciou que a redução de área e tempo, envolvidos no modelo construído deve ser proporcional à resistência do material utilizado na modelação. Hubbert (1945) demonstrou, ainda, que quando o tamanho de um corpo for alterado, as restantes propriedades físicas desse corpo, como a área, volume e comprimento, também se alteram proporcionalmente. Assim, foram estabelecidas as bases de representação escalar na modelação análoga, nas quais Hubbert definiu três aspetos de similaridade fundamentais (Hubbert, 1937, citado em Koyi, 1997):

- i) Dois corpos são geometricamente semelhantes quando todos os comprimentos correspondentes são proporcionais, e todos os ângulos correspondentes dentro dos dois corpos são iguais. A relação entre o comprimento do modelo e do "protótipo" natural deve ser constante. A fim de alcançar semelhança geométrica, essa proporção deve ser aplicada a todas as unidades de comprimento do corpo/rocha simuladas no modelo.
- ii) A similaridade cinemática é alcançada se dois corpos geometricamente semelhantes sofrem alterações similares de forma ou de posição (ou ambos), desde que o tempo necessário para que uma dada alteração num dos corpos seja proporcional ao que é necessário para que ocorra uma mudança correspondente no outro corpo. A proporcionalidade de tempo deve ser constante para o movimento em qualquer lugar dentro dos dois corpos.

³⁶ Ecotopia. (1994). M. King Hubbert. Disponível em URL: <http://www.hubbertpeak.com/hubbert/>, consultado em janeiro de 2016.

iii) Dois corpos que são geometricamente e cinematicamente similares são também dinamicamente semelhantes somente se a relação entre as forças que atuam nas partículas correspondentes nos dois corpos, é constante.

A construção de modelos à escala, proposta por Hubbert, revolucionou a modelação análoga, transformando-a numa técnica quantitativa, que assumiu similaridade física, e, portanto, definiu-a como uma ferramenta eficiente e confiável, no estudo de processos tectónicos (Koyi, 1997).

Em 1951, Hubbert publicou um artigo intitulado “*Mechanical basis for certain familiar geologic structures*” no qual descreveu um modelo, ainda hoje utilizado, que permitiu simular simultaneamente forças compressivas e forças distensivas (Fig. II.43 A e B), utilizando como material areia de baixa coesão.

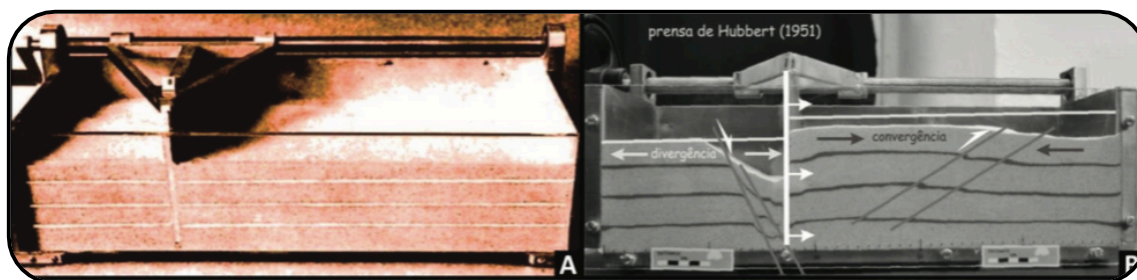


Fig. II.43. A-prensa construída por Hubbert; B-prensa utilizada no CCVEstremoz (extraído de Silva et al., 2012, p. 56).

Ao utilizar o seu modelo, Hubbert, pôde simular a formação de falhas normais (Fig. II.44) e falhas inversas (Fig. II.45), ao mesmo tempo, tal como ocorreu na natureza em diferentes contextos tectónicos.

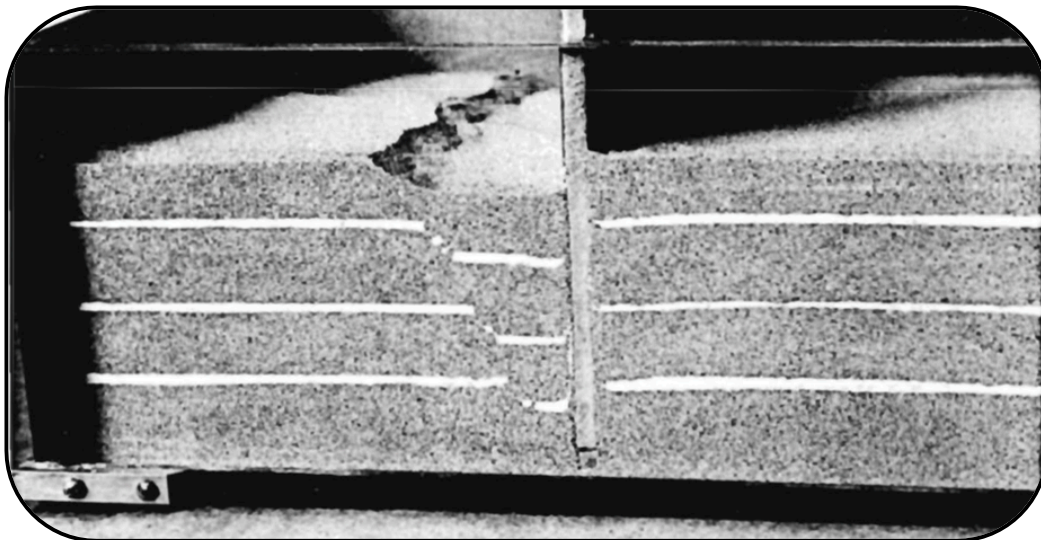


Fig. II.44. Simulação de falhas normais na prensa construída por Hubbert (extraído de Hubbert, 1951, p. 357).

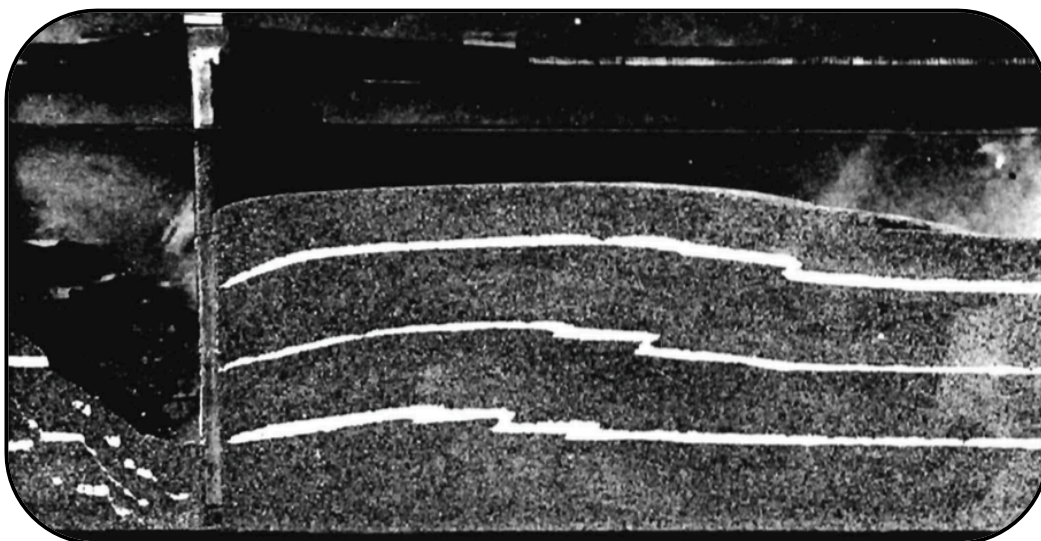


Fig. II.45. Simulação de falhas inversas na prensa construída por Hubbert (extraído de Hubbert, 1951, p. 358).

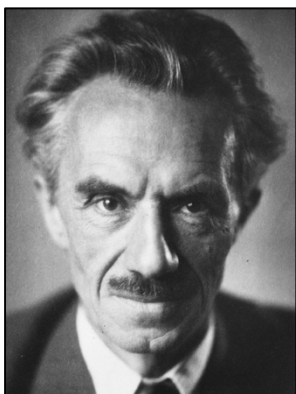


Fig. II.46. Hans Cloos³⁷
(1885-1951).

Hans Cloos, a grande personagem da história da geologia (Fig. II.46)³⁷, a transformar os modelos em máquinas do tempo, mencionou na sua obra uma análise crítica à modelação, elevando a sua subjetividade e a importância da imaginação humana na sua criação. Segundo Bolacha (2014) é hoje considerado um pioneiro nos trabalhos sobre processos de *rifting*.

Tal, também se aplica ao pedido de Cloos para o uso da fotografia e do filme. Cloos experimentou com diferentes ângulos, diferentes períodos de tempo e diferentes técnicas de iluminação, e suas fotografias estão longe de serem testemunhos objetivos, pelo contrário, muitas vezes exibindo uma forte componente ilusória (Brandstetter, 2011).

Ainda de acordo com o mesmo autor, os modelos que simulavam fenómenos tectónicos, tornaram-se mais do que ferramentas ou instrumentos destinados a responder a perguntas sobre os mecanismos causais de laboratório e ajudar a decidir entre diferentes hipóteses, tornaram-se “teatros em miniatura” para dramatizar a ação de forças em questão ao longo do tempo. As estruturas originadas pareciam-se com as suas equivalentes em grande escala (Fig. II.47). A modelação era agora uma tecnologia da imaginação.

Para Brandstetter (2011), Cloos não só construía diagramas e captava fotografias para registar o curso temporal da modelação, como também, em 1930, criou uma série de fotografias sucessivas, simulando imagem em movimento, que retratam a evolução dos processos geológicos simulados no tempo. Ele não era o único geólogo a recorrer à filmagem. Em 1937, Adolf Wurm (1886-1940), apresentou filmes de experiências de modelação relativos à erosão.

Tendo a geologia, desde os seus primórdios, operado com intervalos de tempo inimagináveis, para alguns cientistas, os modelos prometeram ultrapassar esta barreira. Neste sentido, eles eram tecnologias de imaginação, que permitiam ao cientista, literalmente, ver processos que estavam essencialmente fora do alcance da percepção

³⁷ Smithsonian (2016). Hans Cloos. Disponível em URL: <http://collections.si.edu/search/results.htm?q=Hans+Cloos&image.x=0&image.y=0>, consultado em março de 2016.

humana (Brandstetter, 2011). Além disso, para Brandstetter (2011) a fotografia e o filme transformou-os em máquinas para a visualização do próprio tempo geológico.

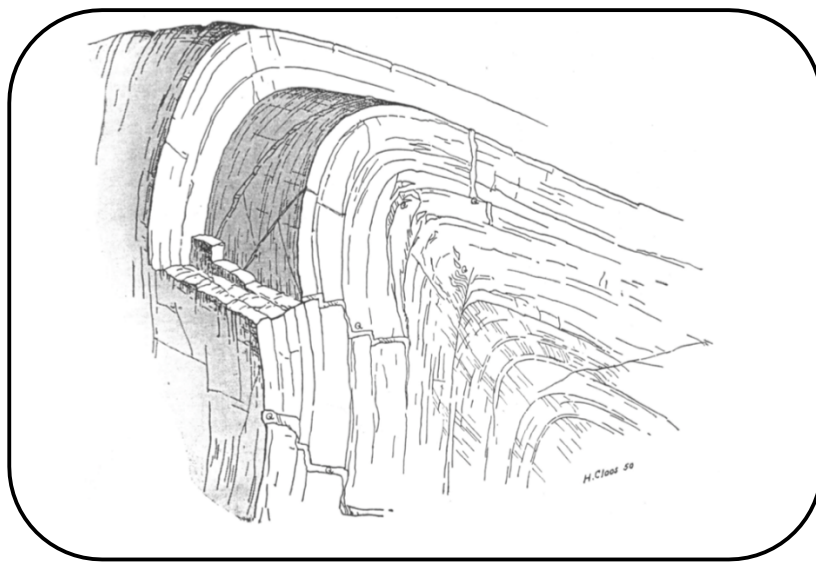


Fig. II.47. Representação tridimensional de uma dobra de Altenburg realizada por Hans Cloos (1950)
(Extraído de Rath, 2003, p. 159).

Nos anos 1960 e 1970, Hans Ramberg enfatizou o papel da força da gravidade, com o recurso a uma centrífugadora, nos processos geológicos e lançou as bases para uma investigação sistemática com a construção de modelos de estruturas tectónicas. A partir dos anos 1960 até o início de 1980, grande parte deste trabalho concentrou-se em estudar diápiros e estruturas semelhantes (Koyi, 1997). Os seus trabalhos permitiram conhecer melhor a deformação dos materiais.

A formulação da teoria da tectónica de placas veio desencadear um interesse pela formação de estruturas de grande escala, nomeadamente cadeias montanhosas e grabens.

Com início nos anos 60 é nos anos 80 que o conceito *modelo* assume um novo significado, com os modelos computacionais. Estes modelos para além do valor explicativo, assumem um valor preditivo. O principal problema metodológico destes

modelos relaciona-se com a validação do modelo em confronto com a realidade (Oreskes, 2007).

Atualmente a modelação é utilizada na investigação científica para simular diversos processos geológicos que ocorrem em unidades de tempo e espaço bem determinadas. Tal é conseguido pelo uso de modelos dinâmicos, construídos à escala, permitindo a manipulação de diversas variáveis, seleccionadas de acordo com o objetivo da investigação (Bolacha, Dias & Fonseca, 2012).

Os modelos análogos apresentam vantagens significativas. Neste sentido, auxiliam a compreensão de fenómenos tectónicos e de acreção, fornecem informações complementares sobre os processos de deformação à escala das estruturas geológicas e podem ser estudados fenómenos de convergência a grande escala, fundamental para compreender o papel da subducção no desenvolvimento de cadeias montanhosas (Malavieille, 2010). Pelos referidos motivos, a modelação análoga tem constituído uma metodologia de investigação adotada por diversos grupos de cientistas para simular os processos anteriormente descritos (e.g. Malavieille, 1984; Malavieille et al., 2008; Malavieille, 2010; Malavieille & Konstantinovskaya, 2010).

Nos finais do século XIX e início do século XX, de modo a estudar processos tectónicos e de acreção, com recurso à modelação análoga são, geralmente realizadas experiências em modelos designados por “caixa de areia” (e.g. Malavieille, 1984; Malavieille et al., 2008; Malavieille, 2010; Malavieille & Konstantinovskaya, 2010), onde se encontram espelhados os contributos ao longo da História da modelação em geologia.

Nos finais do século XX, em 1984, Malavieille, constrói um modelo em “caixa de areia” (Fig. II.48) para compreender o aparecimento e evolução de um sistema orogénico.

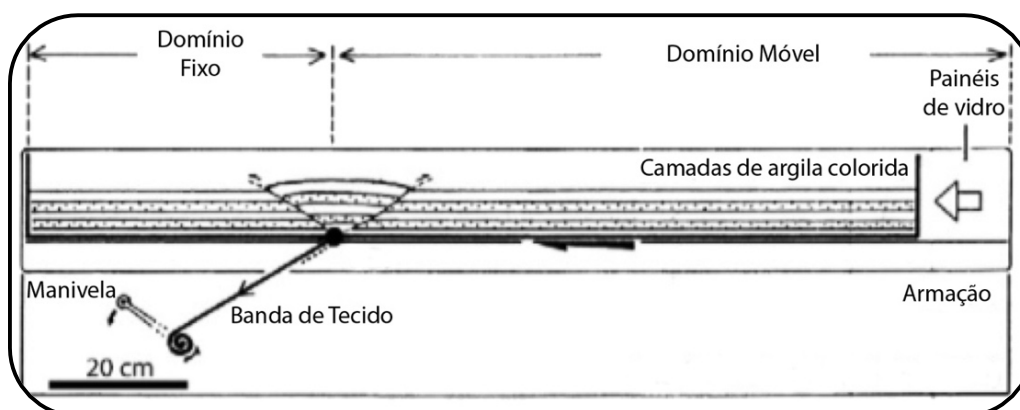


Fig. II.48. Representação do modelo da "caixa de areia" de Malavieille (Adaptado de Graveleau et al., 2012, p.6).

O modelo consistia num paralelepípedo, em que os lados de maior comprimento eram constituídos por vidro, de modo a permitir a observação do decurso dos processos no seu interior. Entre estes dois vidros circulava uma banda de tecido de *nylon*. Este tecido atravessava uma fenda, que materializava o ponto de convergência entre placas, situada a dois terços do plano de suporte. A extremidade do tecido que passa através da fenda enrolava-se em torno de um eixo, cuja rotação era assegurada manualmente. A outra extremidade do tecido encontrava-se limitada por madeira, para manter o material no interior do modelo, contudo não apresentava qualquer papel na formação das estruturas. Os estratos eram constituídos por argila colorida, de modo a distinguir os diferentes estratos.

Os resultados obtidos foram fotografados (Fig. II.49) e filmados, tal como H. Cloos sugerira no início do século XX (Brandstetter, 2011).

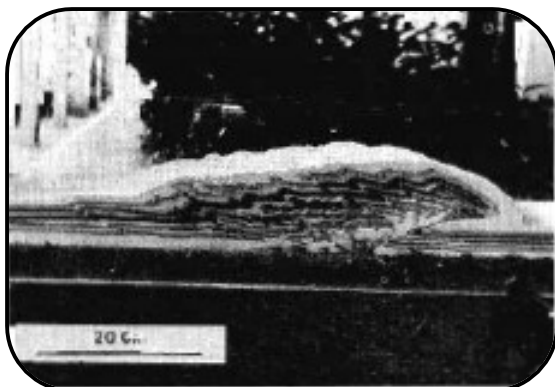


Fig. II.49. Resultado da compressão dos estratos de argila colorida (Extraído de Malavieille, 1984, p.137).

Na reflexão final dos resultados obtidos na investigação, Malavieille (1984) reconheceu o valor da modelação na compreensão do processo de estruturas complexas, das quais o geólogo só tem acesso ao produto final que visualiza em campo. Por outro lado, assumiu que a simplicidade do modelo utilizado não permitiu considerar um grande número de parâmetros que regulam a deformação nas cadeias orogénicas, atribuindo-lhe apenas carácter qualitativo.

Decorridos 24 anos desde o supracitado trabalho de investigação, Malavieille e colaboradores, em 2008, investigaram o papel dos processos endógenos e exógenos na evolução orogénica. Para tal, continuaram a conformação de modelo em “caixa de areia” para simular a deformação em limites convergentes, semelhante ao modelo descrito por Malavieille (1984). Neste estudo, em particular, os autores recorrem a três casos de estudo: a cintura orogénica de Taiwan (Fig. II.50), Alpes e cinturanas orogénicas Hercínicas, localizadas no sul da Europa.

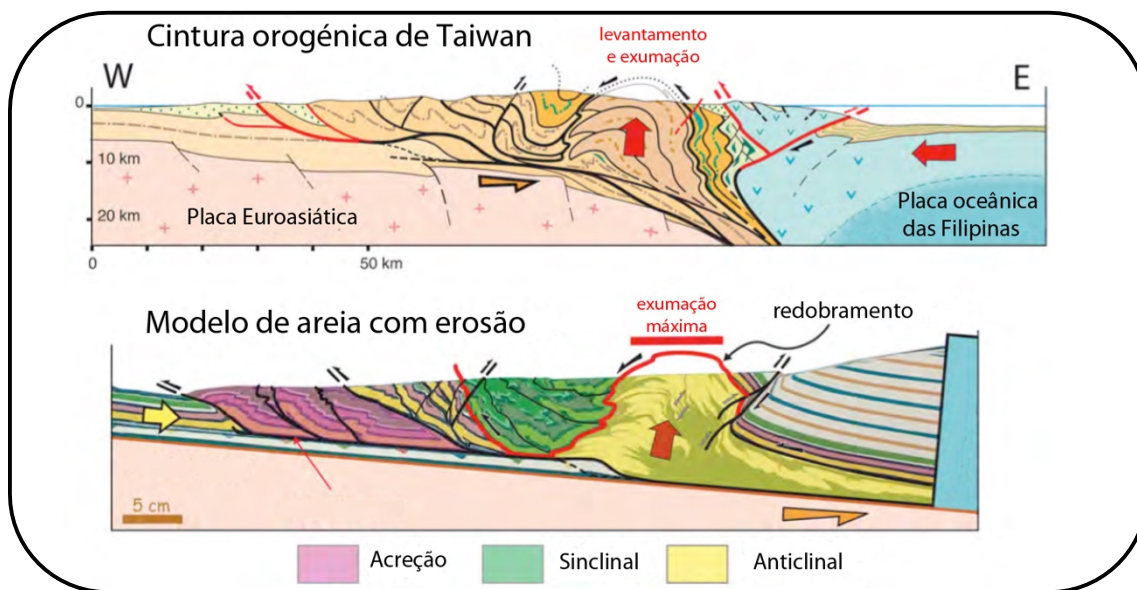


Fig. II.50. Secção interpretativa de Taiwan inspirada num modelo analógico (Adaptado de Malavieille et al., 2008, p.3).

O recurso à modelação análoga permitiu concluir que os processos exógenos desempenham um papel importante no controlo da morfologia orogénica, da evolução

de falhas e localização de pontos de exumação, demonstrando, ainda, a sua interação com os processos tectónicos (Malavieille et al., 2008).

A necessidade de estudar as dinâmicas de paisagem que ocorrem em resposta às condições tectónicas e climáticas, originou o aparecimento de modelos cada vez mais complexos (Fig. II.51), monitorizados computacionalmente (Graveleau, Dominguez & Malavieille, 2008; Graveleau et al., 2015).

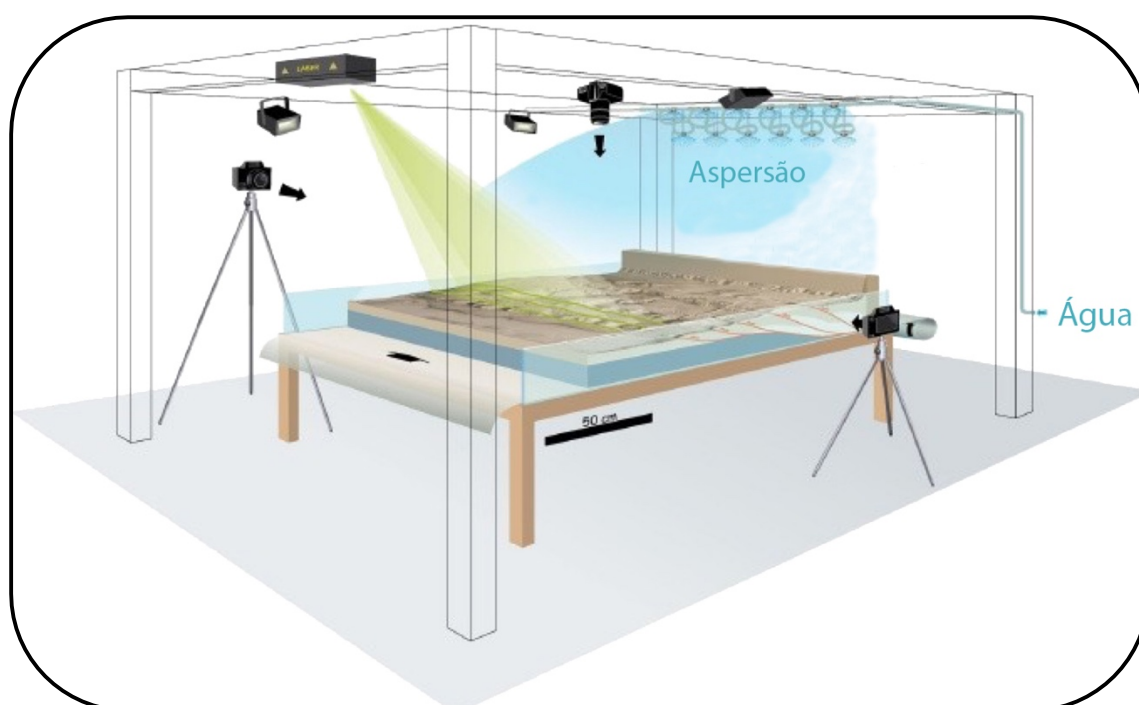


Fig. II.51. Modelo experimental: dispositivo de deformação, sistema de simulação de chuvas, banco ótico de medição, câmaras acopladas a um interferómetro laser. (Adaptado de Graveleau et al., 2008, p.2).

Para além da complexidade dos modelos intervenientes neste processo de modelação, de acordo com o objetivo de representar a evolução de dinâmicas de paisagens orogénicas, Graveleau e colaboradores (2008), para além da definição de diversos parâmetros, tais como a granulometria dos sedimentos, comportamento reológico, fricção interna, entre outros, tiveram necessidade de definir, ainda, uma

escala espacial (1 cm \approx 500-1000 metros) e uma escala temporal (1s \approx 35-70 anos). Tal como Hubbert (1945) referia como sendo essencial para o reconhecimento da representatividade dos modelos.

O fulcral deste trabalho, para além da complexidade e da definição de parâmetros escalares, consistiu na abertura de novas perspetivas da aplicação da modelação análoga como metodologia de investigação em áreas como a geomorfologia, sedimentologia e sismologia (Graveleau et al., 2008).

Dois anos depois, Malavieille & Konstantinovskaya (2010) desenvolveram um trabalho de investigação assente em métodos de modelação análoga para ilustrar as interações complexas intervenientes na formação e estruturação das zonas de subducção, formadas em contextos de subducção continental.

O modelo construído por Malavieille & Konstantinovskaya (2010) compreendeu um modelo clássico composto por uma placa basal, limitado por duas paredes de vidro laterais (Fig. II.52), semelhante ao modelo já descrito em Malavieille (1984). Todavia, este modelo continha alterações consideráveis, em relação ao anterior, para manipulação de variáveis como o atrito basal, taxa de fricção interna, a coesão, entre outros, também desenvolvidos num trabalho semelhante publicado por Malavieille (2010). Assim, este modelo em concreto, possuía já um motor para mover a placa basal, construída em plástico, sobre a qual poderia variar o atrito; uma base de plástico bem-polida provocaria menos atrito do que uma placa de plástico que apresentasse rugosidade. Os materiais granulares análogos depositavam-se numa superfície de plástico com propriedades específicas, respeitando a teoria de Coulomb e o comportamento de deformação não linear das rochas que compõe a crosta terrestre. As areias eólicas utilizadas apresentavam uma granulometria não superior a 300 mm e uma densidade de 1690 kg/m³. O coeficiente de fricção interna foi de 0,57 e de coesão igual a 20 Pa. Para a manutenção da coesão interna foram usadas microcamadas de vidro com cerca de 1-2 mm de espessura.

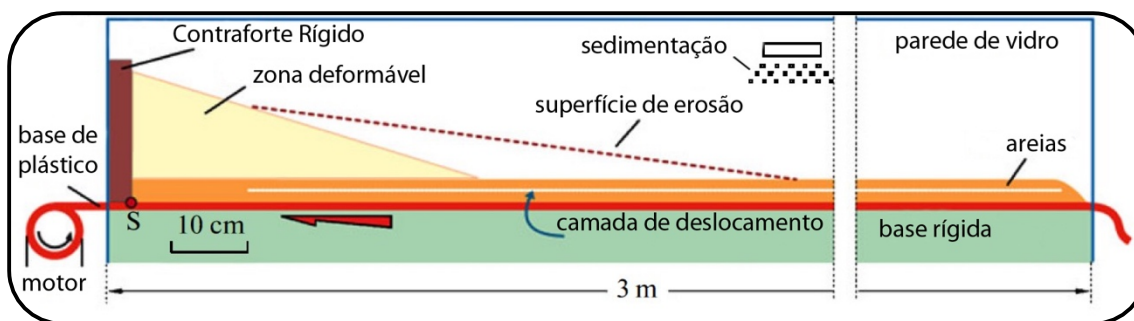
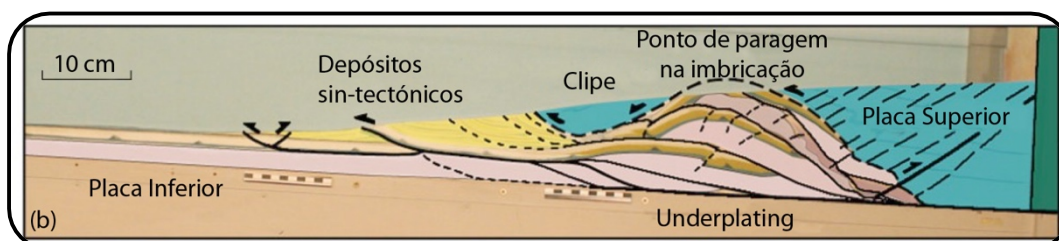
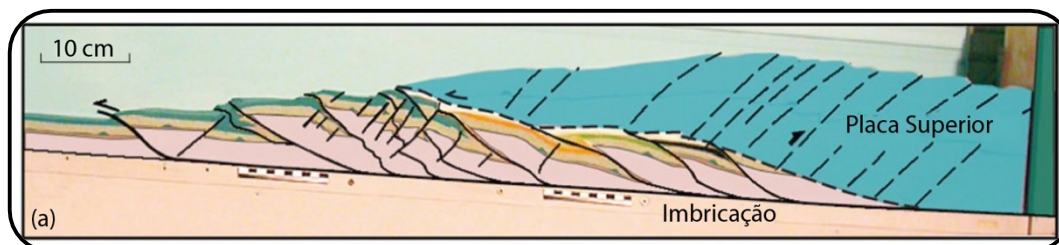


Fig. II.52. Esquema do modelo usado para modelação analógica de zonas de subducção axiais. (Adaptado de Malavieille & Konstantinovskaya, 2010, p. 542).

Este modelo permitiu alterações na configuração geométrica e no comportamento reológico dos estratos. A linha tracejada representava a superfície de erosão. A sedimentação realizou-se por aspersão de areia.

Os resultados (Fig. II.53(a), II.53(b) e II.53(c)) provenientes da modelação análoga permitiram a reflexão sobre a complexidade das interações dos processos de primeira ordem envolvidos na evolução estrutural, cinemática e exumação de rochas de zonas de subducção.



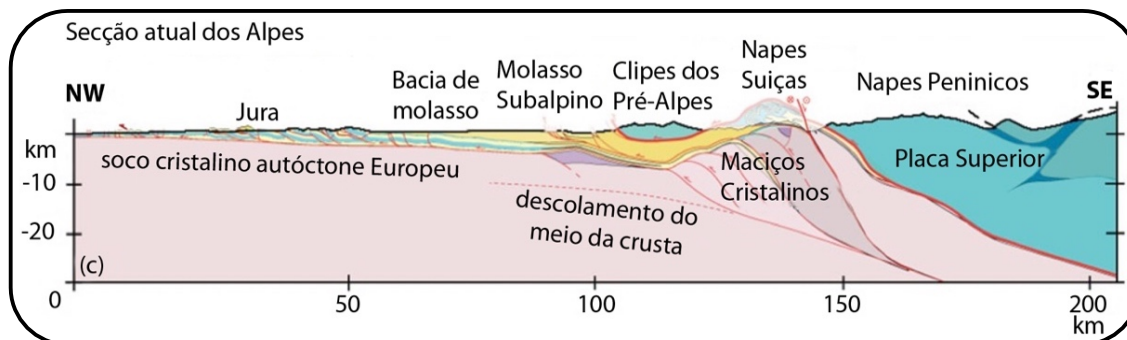


Fig. II.53. (a) Modelo de simulação da estrutura de uma margem continental sem erosão; (b) o mesmo modelo com erosão e sedimentação sintectónica, aplicada aos Alpes e (c) secção geológica dos Alpes suíços, nos dias de hoje (Adaptado de Malavieille & Konstantinovskaya, 2010, p.550).

Nas últimas décadas apareceram na investigação geológica modelos numéricos, nos quais equações e sistemas computacionais permitem aos geólogos não só reconstruir o passado como também inferir episódios geológicos futuros (Oreskes, 2007), salvaguardando sempre, que tal como os modelos análogos, os modelos não podem confirmar um acontecimento passado nem prever um futuro. Isso deve-se ao facto do não controlo da totalidade das variáveis devido à complexidade espacial e temporal dos sistemas com que a geologia trabalha.

II.3 A importância dos modelos no ensino da geologia

Como referido, o uso de modelos na geologia teve início com James Hall (1761-1832), considerado o pai da geologia experimental. Tais modelos experimentais, abundantes desde o início da década de 1860 têm atraído apenas recentemente o interesse dos historiadores (Oreskes, 2007). Os modelos geológicos não foram apenas usados como imitações de certos fenómenos da natureza, mas também, e talvez o mais importante, como instrumentos de investigação em geologia. Diferentes tipos de

modelos têm sido utilizados em geologia desde o século XIX até à atualidade quer na vertente investigação quer na educação/ensino.

Um modelo geológico estático bastante conhecido é o modelo de relevo. Trata-se de um modelo estático de cadeias de montanhas ou formações distintas feitas principalmente de gesso e meticulosamente pintados para apresentar uma visão tão próximo da realidade quanto possível. Tais modelos, que ainda podem ser vistos em museus, têm sido utilizados quer para fins de ensino, quer para popularizar os esforços científicos de geologia em contextos de divulgação científica (Brandstetter, 2011).

Dourado e Leite (2008) mencionam que no ensino da geologia recorre-se muitas vezes a modelos para explicar processos geológicos externos, como por exemplo as formas de vulcanismo e as caixas de areia que geram dobras e falhas. Um dos modelos dinâmicos mais utilizado no ensino da geologia é o modelo similar ao de Hubbert que permite estudar ao mesmo tempo a formação de falhas normais e inversas. Estas falhas, formadas por processos distintos de distensão e compressão, podem auxiliar na compreensão da teoria da tectónica de placas, e assim, abranger diversos conceitos, alguns dos quais, bastante abstratos para os alunos. Mas a fundamentação do uso da modelação no ensino das ciências encontra-se na psicologia cognitiva.

A teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983) foi considerada um marco para a psicologia cognitiva, ao introduzir o conceito de modelo mental, uma vez que existia uma forte discussão sobre qual seria a melhor forma de representação mental: a proposicional ou a imagética (Gibin & Ferreira, 2009). A teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird é uma teoria que explica adequadamente a mente porque considera quer a forma de representação (proposições, modelos mentais e imagens) quer os procedimentos que permitem construí-la e manipulá-la, tudo construído sobre uma linguagem mental própria (Palmero, Acosta & Moreira, 2001), como será melhor explicado na secção ensino da geologia baseado em modelos.

Mas como usar os modelos para o ensino em sala de aula?

Os modelos quando utilizados na educação devem ser explorados de forma que os alunos compreendam a natureza e o significado dos modelos que desempenharam papéis fundamentais no desenvolvimento do conhecimento científico (Gilbert, 2004). Os alunos devem desenvolver a capacidade de produzir, testar e avaliar os modelos de um determinado fenómeno. Versões simplificadas de modelos científicos ou históricos

podem ser produzidas como modelos para o ensino de forma a auxiliar a aprendizagem (Gilbert, 2004).

A modelação deve ser estruturada, isto é, o professor deve definir o que pretende simular e quais as condições reais em que ocorreu o processo, devido ao papel decisivo que pode ter no sucesso do ensino e na aprendizagem. A intervenção dos alunos nas aulas em que modelos são utilizados pode e deve ser requerida quer na montagem do aparato quer na execução da atividade. A utilização de modelos computacionais usados na investigação também pode ser usada em sala de aula com a respetiva transposição didática. Do exposto, podemos concluir que há um considerável número de modelos para o ensino que recorrem a analogias e que a utilização de analogias no ensino da geologia prende-se com a sua versatilidade educativa, na medida em que permite aos alunos aprenderem a interpretar critica e reflexivamente quer o que observam quer o que fazem. Ajuda-os a olhar um problema de diferentes perspetivas levando a uma compreensão mais profunda dos conceitos abordados bem como, a relacionar estes com outros conceitos. Assim, pode-se esperar que os alunos desenvolvam competências de nível cognitivo superior, num padrão semelhante àquele usado pelos cientistas no desempenho da sua profissão (Bolacha, et al., 2006).

II.3.1 Tipos de modelos para o ensino

No ensino das ciências, os modelos são importantes pois, além de representarem as relações que existem entre as teorias e os fenómenos, (Van Driel & Verloop, 1999; Silva, 2007) permitem que os alunos desenvolvam o conhecimento sobre o processo de construção do conhecimento científico (Coll, France & Taylor, 2005). A utilização de modelos em sala de aula é importante pois auxilia a explorar as maneiras como os alunos constroem, manipulam e interpretam os modelos (Gilbert, 2004; Coll et al., 2005; Treagust et al., 2002; Torres et al., 2016), permitindo que estes aprendam saberes e processos científicos.

Apesar dos modelos serem uma ferramenta bastante útil nos processos de ensino e de aprendizagem, nem sempre são devidamente utilizados na sala de aula sendo, por vezes, motivo de construção de conceções erróneas por parte dos alunos (Isla & Pesa, 2003; Torres et al. 2013). É necessário tornar explícito, durante o trabalho de sala de

aula, que os modelos científicos: i) são construções provisórias e aperfeiçoáveis, nenhum modelo científico possui a verdade absoluta e definitiva; ii) alternativos podem não ser compatíveis entre si, apesar de pretenderem explicar a mesma porção da realidade só são incompatíveis se partirem de pressupostos diferentes e iii) alternativos sucessivos não são sempre incompatíveis, já que um modelo que substitui outro geralmente engloba uma nova forma de pensar e modelar a realidade (Galagovsky & Adúriz-Bravo, 2001; Torres & Vasconcelos, 2014). Os mesmos autores, ressaltam o facto de muitos dos modelos utilizados na sala de aula não serem modelos científicos análogos (quadro 2.1) e, por vezes, constituírem réplicas não fiáveis (modelos para o ensino simplificadas).

Quadro 2.1. Algumas diferenças entre os modelos científicos e os modelos para o ensino simplificados presentes com frequência nos livros escolares (adaptado de Galagovsky & Adúriz-Bravo, 2001, p. 235).

Modelos científicos	Modelos para o ensino
<ul style="list-style-type: none"> - são uma construção provisória, altamente convencional, melhorável e historicamente contextualizada. - dois modelos científicos alternativos sobre o mesmo tema podem ser simultaneamente incompatíveis se tem por base pressupostos diferentes. - dois modelos científicos alternativos sobre o mesmo tema podem ser sucessivamente incompatíveis se os conceitos teóricos envolvidos sofreram mudança. - surgem do consenso da discussão da comunidade científica. - utilizam-se para explicar os fenómenos que a experimentação de um determinado momento histórico evidencia. 	<ul style="list-style-type: none"> - geralmente provem de um modelo científico simplificado e desatualizado, historicamente descontextualizado, com a ideia de “verdade eterna”. - os modelos para o ensino alternativos sobre o mesmo tema parecem sempre serem simultaneamente compatíveis num mesmo livro ou curso. - os modelos para o ensino alternativos sobre o mesmo tema parecem ser sucessivamente compatíveis, não há nenhuma menção da sua evolução histórica e conceitual. - são impostos no texto ou no discurso da sala de aula, a sua natureza convencional não é explícita. - são apresentados como verdades intrínsecas e não para explicar fenómenos; considera-se importante ensinar “o último modelo”, pelo que não pode haver contradições entre factos experimentais e modelos anteriores.

Segundo Alvaréz e Torres (1996), os modelos permitem a representação de processos reais em contextos espaciais e temporais diferentes, recorrendo a condições físicas e químicas também diferentes. Assim, é necessário muito cuidado quando se explora um modelo para o ensino de forma a não criar ideias erróneas nos alunos e potenciar o desenvolvimento de um raciocínio por analogia, um raciocínio científico e um raciocínio histórico e interpretativo.

Mas são várias as classificações que constam na literatura relativamente a modelos para o ensino.

Para Harrison & Treagust (2000) há vários tipos de modelos utilizados na educação/ensino em ciências: análogos e compreendem os objetos em escala ou exagerada; símbolos; equações e gráficos; diagramas e mapas e simulações que facilitam a comunicação científica. Estes modelos podem ser concretos, abstratos ou teóricos, dependendo das necessidades do seu autor e público, mas acima de tudo, devem reforçar a investigação, a compreensão e a comunicação, tornando-os instrumentos fundamentais no pensar e trabalhar cientificamente. Os modelos concretos, independentemente de serem estáticos ou dinâmicos, podem ser de dimensões iguais, maiores ou menores do que pretende representar. Porém, devem manter a proporcionalidade e as características que o tornam visualmente semelhante. Os modelos à escala, como todos os outros, são simplificações da realidade e nem sempre é possível, em geologia, utilizar na sala de aula um modelo à escala. Como já foi referido, a geologia trabalha com escalas temporais e espaciais de grandes dimensões, recorrendo a modelos análogos. Estes, para além de representarem a função e a proporção do objeto ou fenómeno estudado permite a extrapolação. Testam hipóteses sobre processos geodinâmicos cujo resultado final só pode ser observado no campo (Ranalli, 2001).

Outras classificações referem como modelos utilizados no ensino os: a) modelos de ícones e símbolos como, por exemplo, as fórmulas químicas e equações; b) modelos matemáticos, que correspondem a propriedades físicas e processos representados por equações e gráficos matemáticos; c) modelos teóricos, construções humanas que descrevem entidades teóricas bem fundamentadas e também podem incluir d) os modelos de escala.

Na perspetiva de Gilbert (2011) refere que os modelos podem ser concretos ou abstratos. Um modelo concreto é educacionalmente eficaz quando se reconhece a realidade que se pretende representar, pelo que deve ter similaridade com o real, mesmo que parcial (Frigg & Hartmann, 2012). Modelos pouco exatos ou simplistas devem ser eliminados. Os modelos teóricos idealizados pelos cientistas são modelos abstratos.

No nosso estudo optamos por seguir a clarificação de Vasconcelos e colaboradores (2014) segundo os quais os modelos para o ensino, quando são físicos, podem ser classificados em três géneros: modelos físicos análogos, modelos físicos não análogos e réplicas históricas. Os primeiros, raros e com custos elevados, respeitam as condições de similaridade e bases de representação escalar, definidas por Hubbert em 1946, na modelação análoga. Os modelos físicos não análogos, como os da nossa investigação, coadjuvam os alunos a compreender o processo geológico por possuírem similaridades com os processos reais. Por outro lado, as réplicas históricas auxiliam os alunos na compreensão de conteúdos epistemológicos relativos à natureza da geologia, ao raciocínio por analogia e à época em que o modelo foi concebido. Note-se que, um modelo científico desatualizado, que tenha sido substituído por outro, é considerado como um modelo histórico e pode ser usado como modelo para o ensino, pois permite aprendizagens relativas à instabilidade da verdade em ciência (Vasconcelos, 2015). Auxiliando o aluno a compreender algumas características da natureza da ciência

Professores e cientistas consideram que os modelos ajudam os alunos a construir e manipular modelos mentais de fenómenos abstratos e não observáveis, pelos que são usados regularmente para descrever e explicar estruturas e funções conceptualmente importantes (Harrison & Treagust, 2000; Galagovsky & Adúriz-Bravo, 2001, Vasconcelos, 2014). Contudo, estudos demonstram que os estudantes compreendem melhor as analogias auto-geradas porque são-lhes mais familiares e mais fáceis de compreender (Harrison & Treagust, 1998). Os mesmos autores referem que muitos conceitos de ciências necessitam de múltiplos modelos para a sua descrição e explicação (por exemplo, uso simultâneo de modelos físicos e modelos computacionais). Contudo, são ainda poucos os professores que aplicam a modelação nas suas aulas pois revelam um conhecimento limitado acerca do papel dos modelos quer na ciência quer no ensino (Khan, 2011).

II.3.2 Raciocínio e o ensino baseado em modelos

Como fomos referindo em secções anteriores, um ensino baseado em modelos permite que o aluno desenvolva o Raciocínio. Neste estudo, o termo Raciocínio refere-se aos diferentes raciocínios necessários à construção do conhecimento geológico. Assim, o termo Raciocínio refere-se ao raciocínio científico, raciocínio por analogia e raciocínio histórico e interpretativo.

Raciocínio, no domínio da psicologia significa o processo de pensamento, especialmente do pensamento lógico ou de resolução de problemas (Chaplin, 1981). No campo da filosofia, podemos dizer que raciocinar é usar a razão (Russ, 2000).

Sendo este trabalho orientado para o ensino das ciências, referimos a promoção de um raciocínio científico através do recurso à aprendizagem baseada em modelos. Na literatura, é possível encontrar algumas definições de raciocínio científico, o qual pode ser definido como as habilidades cognitivas necessárias para compreender e avaliar a informação científica ou como as habilidades de pensamento e raciocínio envolvidas na investigação, experimentação, avaliação de evidências, inferência e argumentação que apoiam a formação e modificação de conceitos e teorias sobre o mundo natural e social (Ding et al., 2009; Ibrahim et al., 2016). Entende-se por raciocínio científico o conjunto de capacidades investigativas que se empregam na construção do conhecimento científico e que se sobressaem no trabalho dos cientistas (Leite, 2001) como, por exemplo, observar, questionar, esquematizar, legendar, comparar, seleccionar, formular hipóteses, tratar e organizar dados, argumentar e concluir. Não esquecendo, porém, que a argumentação é “uma das principais características do processo de construção das ciências” (Sasseron & Carvalho, 2011, p. 244). Tal como mencionam Morris e colaboradores (2012), um raciocínio eficaz requer habilidades dedutivas e indutivas. Isto é, os alunos devem entender como avaliar o que atualmente é defendido, desenvolver perguntas testáveis, testar hipóteses e tirar conclusões apropriadas, gerindo evidências empíricas e teoria. Tendo sempre presente que as explicações científicas não resultam diretamente de dados recolhidos (Millar & Osborne, 1998) e que incluem pensamento teórico que proporciona a criação de relações entre vários elementos (Sandoval & Reiser, 2004).

Defendendo-se atualmente um Ensino das Ciências por Investigação (referido na literatura da especialidade como *Inquiry-based Teaching*) pretende-se que os alunos se envolvam em atividades que espelhem o trabalho dos cientistas e que, por isso, os auxiliem a desenvolver o raciocínio científico e os processos e operações mentais inerentes. Isto é, o raciocínio científico que envolve a aplicação dos métodos ou princípios de investigação científica a situações de resolução de problemas (Koslowski, 1996). O raciocínio científico é relevante para a participação ativa dos alunos na sociedade do conhecimento, como pensadores autónomos e críticos (Fischer et al., 2014).

Um aluno com raciocínio científico é um aluno que compreende a construção do conhecimento científico.

Outro raciocínio que importa desenvolver no ensino da geologia é o raciocínio por analogia. No ensino da geologia torna-se um interessante desafio ensinar conceitos abstratos e complexos que não são vivenciados à escala humana, por serem processos extraordinariamente lentos. O raciocínio por analogia permite a comparação de estruturas entre o domínio familiar (real, observável) e o domínio não familiar (Duit, 1991). O interesse em analogias deve-se ao facto de se tentar compreender o não familiar (abstrato, simulado com modelos) com base no que já conhecemos (Borges, 1997).

Duarte (2005), expõe algumas potencialidades do uso de analogias no ensino das ciências. Apesar de se reconhecer importância na utilização da analogia no ensino e na aprendizagem por possuir muitas potencialidades (Harrison & Treagust, 2006; Bolacha, Deus & Fonseca, 2009; Castelhana et al., 2013; Vasconcelos & Gomes, 2014), apresenta, também, algumas limitações (Duarte, 2005). Não obstante, os professores encontram na analogia uma ferramenta útil para a reestruturação do conhecimento, pelo que, recorrem a analogias para simplificar conceitos bem como transformar noções abstratas em noções concretas, por comparação de conceitos ou objetos invulgares com outros que são familiares (Duit, 1991; Dagher, 1998; Castelhana et al., 2013; Torres & Vasconcelos, 2014). As analogias no ensino das ciências, permitem o desenvolvimento do raciocínio por analogia.

Recorrendo à literatura da especialidade, o raciocínio por analogia é referido como sendo uma combinação de duas formas logicamente apropriadas de raciocínio, indução e abdução. Que se usadas corretamente, contribuem para o avanço da compreensão científica sobre a Terra (Baker, 2014a). A parte indutiva da inferência permite a conclusão de que A pertence à classe X e a parte abdutiva infere que B provavelmente também pertence à classe X. A inferência análoga completa chegará à conclusão de que B provavelmente se relacionará com A, podendo usar as causas conhecidas de B para inferir uma hipótese potencialmente fecunda quanto às causas desconhecidas de A. Esta hipótese não fornece a explicação para A e suas causas, mas a hipótese é digna de investigação como ferramenta para procurar a melhor explicação (Baker, 2014b). Como salienta Bolacha (2014) um raciocínio por analogia é quando se infere, a partir de uma semelhança comprovada, uma semelhança não comprovada ou seja, não há dedução. O próprio princípio do atualismo, usado na geologia, pressupõe que se estabeleça relações de semelhança entre efeitos geológicos, que à partida são diferentes, separados no tempo (Bolacha, 2014). Como ficou conhecido pela afirmação de Lyell em que o presente é a chave do passado. Este princípio fundamenta a afirmação e permite compreender como é construído o conhecimento geológico (Engelhardt & Zimmermann, 1988).

Um aluno com raciocínio interpretativo e por analogia é um aluno que compreende o significado do trabalho por modelação em geologia.

Finalmente, importa referir o raciocínio histórico e interpretativo. Assim, como já mencionado, a geologia é uma ciência que trabalha com processos e forças que não podem ser diretamente observáveis. A escala temporal e espacial é de tal ordem elevada que faz com que a geologia seja uma ciência histórica e hermenêutica, a qual não se empenha em fazer previsões (Frodeman, 2001, 2003). Desenvolve-se com base numa escala temporal com dimensões diferentes da escala histórica, com que são geralmente relatados os acontecimentos marcantes da história da humanidade. Assim, os acontecimentos geológicos, não são medidos à escala humana. O próprio princípio do uniformitarismo, que pressupõe uma uniformidade temporal dos processos geológicos, implica que os geólogos utilizem um raciocínio histórico.

O raciocínio histórico e interpretativo é referido como um raciocínio que reflete a contextualização, ou que leva em conta, o período e cenários históricos, e recorre ao uso de conceitos substantivos para descrever, comparar e explicar fenómenos

históricos (Drie & Boxtel, 2008). Não é apenas informado por informações históricas, mas implica também a aplicação de heurísticas históricas (Drie & Boxtel, 2008). Um aluno que desenvolva um raciocínio histórico é capaz de fazer uso produtivo do seu conhecimento histórico para interpretar novas informações ou desenvolver uma compreensão mais profunda. O raciocínio histórico visa o entendimento histórico (ao longo do tempo), a mobilização de operações de ordem intelectual, imaginativa e intuitiva (Siman, 1999). Não obstante o referido, reafirma-se que o tempo geológico tem dimensões distintas do tempo histórico a que habitualmente nos referimos.

Como refere Frodeman (2001) a geologia tem natureza histórica porque explica um acontecimento integrando-o num todo organizado e não o explica subjugando-o a uma generalização. Ressalva-se, mais uma vez, que o raciocínio histórico a que os geólogos recorrem é desenvolvido numa escala cronológica que mede o tempo geológico, permitindo que os cenários históricos remetam para períodos de tempo muito mais alargado e auxiliando assim a reconstruir a história da Terra.

Um aluno com raciocínio histórico e interpretativo é um aluno que compreende o significado de tempo geológico e consegue reconstituir a história da Terra.

Neste trabalho assumimos como problema verificar se o uso de modelos pode potenciar o desenvolvimento do Raciocínio. A par do ensino baseado em modelos e da estratégia de modelação recorreu-se, ainda, ao V heurístico de Gowin. Este recurso educativo auxilia o aluno a compreender processos investigativos e a adquirir uma certa compreensão da construção do conhecimento científico.

CAPÍTULO III: Metas curriculares de Ciências Naturais (componente de geologia)

III.1 Introdução

Neste capítulo, constituído por duas secções, faz-se uma breve sinopse dos conteúdos programáticos (conceitos e processos geológicos) descritos nas metas curriculares de geologia, integrados na disciplina de ciências naturais do 7º ano de escolaridade, que foram alvo do Programa de Intervenção (PI). Os conteúdos estão inseridos no domínio Terra em Transformação, subdomínio Estrutura e dinâmica interna da Terra. A primeira secção aborda o conteúdo da “*Teoria da expansão dos fundos dos oceanos*” integrado no objetivo geral *Compreender os fundamentos da estrutura e da dinâmica da Terra* cujos descritores são: i) apresentar argumentos que apoiaram e fragilizaram a Teoria da Deriva Continental; ii) reconhecer o contributo da ciência, da tecnologia e da sociedade para o conhecimento da expansão dos fundos oceânicos; iii) esquematizar a morfologia dos fundos oceânicos; iv) explicar as evidências clássicas (oceânicas e continentais) que fundamentam a teoria da tectónica de placas e v) relacionar a expansão e a destruição contínuas dos fundos oceânicos com a constância do volume da Terra. A secção dois refere-se ao conteúdo “*Dobras e cavalgamentos*” incluído no objetivo geral *Aplicar conceitos relativos à deformação das rochas* cujos descritores são: i) distinguir comportamento frágil de comportamento dúctil, em materiais diversos, com base numa atividade prática laboratorial; ii) explicar a formação de dobras e de falhas, com base numa atividade laboratorial e iii) relacionar a deformação das rochas com a formação de cadeias montanhosas.

É apresentado nas próximas secções informação científica sobre as temáticas envolvidas no estudo.

III.2 Deriva dos continentes e tectónica de placas

A semelhança morfológica entre as linhas das costas leste da América do Sul e oeste da África tem suscitado a curiosidade, ao longo dos tempos, de alguns geógrafos

e filósofos. Rundić (2012) refere que em 1596, o geógrafo Abraham Ortelius tinha sugerido que as Américas já estiveram unidas à Europa e Ásia tendo a sua separação sido provocada por terremotos.

Também Francis Bacon (1620) e Antonio Snider-Pellegrini (1858) questionaram-se à cerca de tal semelhança. Bacon, num dos seus últimos documentos escritos interrogava-se qual teria sido o cataclismo que teria provocado a separação destes dois continentes (Lavina, 2010). F. B. Taylor (1860-1939) também terá reparado no encaixe perfeito destes dois continentes e em 1908, apresentou as suas ideias numa palestra (Wegener, 1966), as quais não tiveram aceitação nos meios científicos, não produzindo sequer debates sobre a sua validade ou não. Taylor, propôs que tinham sido as forças gravitacionais terrestres que tinham capturado a Lua, durante o Cretácico, e que os deslocamentos de maré eram responsáveis pelo mecanismo de deslocamento dos continentes.

Em 1910 quando o alemão Alfred Wegener (Fig. III.1)³⁸, meteorologista e explorador polar, geofísico e climatologista, ao observar atentamente o mapa do mundo reparou na impressionante congruência que existia entre as duas margens atlânticas dos continentes Africano e Sul Americano, como se tivessem estado ligados no passado (Hoffman, 2012).



Fig. III.1: Alfred Wegener³⁸
(1880-1930).

Wegener não ligou muito à ideia, por achar pouco provável que tivessem ocorrido movimentos horizontais da



Fig. III.2: Eduard Suess³⁹
(1831-1914).

crusta. Porém, em 1911 ao ler um artigo que falava de evidências paleontológicas de répteis mesossaurídeos em continentes do hemisfério sul e tendo em conta as ideias de Edward Suess (Fig. III.2)³⁹, o qual propôs que a Índia, Madagascar, África e Austrália tinham formado um único continente, ao qual designou de Gondwana, com base em evidências paleontológicas da flora *Glossopteris*

³⁸ Encyclopaedia Britannica, Inc. (2016c). Alfred Wegener, Baronet. Disponível em URL: <https://www.britannica.com/biography/Alfred-Wegener>, consultado em fevereiro de 2016.

³⁹ Encyclopaedia Britannica, Inc. (2016d). Eduard Suess, Baronet. Disponível em URL: <https://www.britannica.com/biography/Eduard-Suess>, consultado em fevereiro de 2016.

(Lavina, 2010), Wegener sugere que teria havido uma ponte terrestre entre o Brasil e a África.

Wegener (1966) escreveu a Else Köppen (com quem casaria em 1913):

“Doesn’t the east coast of South America fit precisely into the west coast of Africa so as if they had been connected in the past. This seems even more true, when one looks at a bathymographical map of the Atlantic Ocean and compares not the rims of continental dry lands but the edges of the continental shelves to the deep sea. I have to follow up this thought” (p.75).

Assim, a 6 de janeiro de 1912 no Museu Senckenberg, em Frankfurt, Wegener, apresentou à comunidade científica um novo conceito sobre a origem dos continentes (RundiĆ, 2012) num discurso intitulado: “A base geofísica da evolução a larga escala das características da crosta terrestre (continentes e oceanos)”, (*Die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (continente und Ozeane) auf geophysikalischer Grundlage*) (Wegener, 1966). Segundo a sua conceção de evolução geográfica, teria existido no passado um supercontinente, designado Pangea⁴⁰, rodeado por um único oceano, designado por Pantalassa, (Cailleux, 1952) que posteriormente se teria fragmentado dando origem aos continentes atuais. Apesar de rapidamente as suas ideias terem-se expandido pelo mundo, estas foram rejeitadas tal como já haviam sido declinados outros conceitos revolucionários (como por exemplo, Nicholas Copernicus, que defendia que a Terra girava à volta do sol ou Galileo Galilei com a teoria heliocêntrica).

Em consequência da apresentação das suas ideias, Wegener publica três artigos no jornal *Petermanns Geographischen Mitteilungen* (RundiĆ, 2012) e é em 1915 que edita um livro intitulado “*Die Entstehung und der Continent Ozean*” (A Origem dos Continentes e Oceanos), no qual defende que os continentes estiveram unidos num único supercontinente, a que designou de Pangea, e que se separaram gradualmente até alcançarem as posições atuais (Wegener, 1966), indo contra as conceções vigentes dos continentes estáticos (Fig. III.3).

Com estas ilustrações (Fig. III.3), Wegener, procurou mostrar qual seria a posição dos continentes no final do Carbonífero, no Terciário e no início do Quaternário. Assim, referiu que no final do Carbonífero a América do Sul estaria ligada à África bem como os continentes do hemisfério sul, Austrália e Antártida. A Índia, mais longa do que

⁴⁰ Que significa, em grego, “toda a Terra”.

atualmente, encaixava na perfeição entre a África e a Austrália. A América do Norte estaria ligada ao continente Euroasiático. Durante os períodos Triásico e Jurássico, a Pangea ter-se-ia começado a dividir e os continentes foram-se movendo em direção a oeste e ao equador. A Gronelândia e a Noruega permaneceram unidas até ao início do período Quaternário (Takeuchi et al., 1974).

Wegener para apoiar o seu modelo teórico expôs argumentos morfológicos, litológicos e paleontológicos. Contudo, ao longo das reedições do seu livro (1920, 1922 e 1929) foi acrescentando evidências paleoclimáticas e geodésicas (Lavina, 2010).

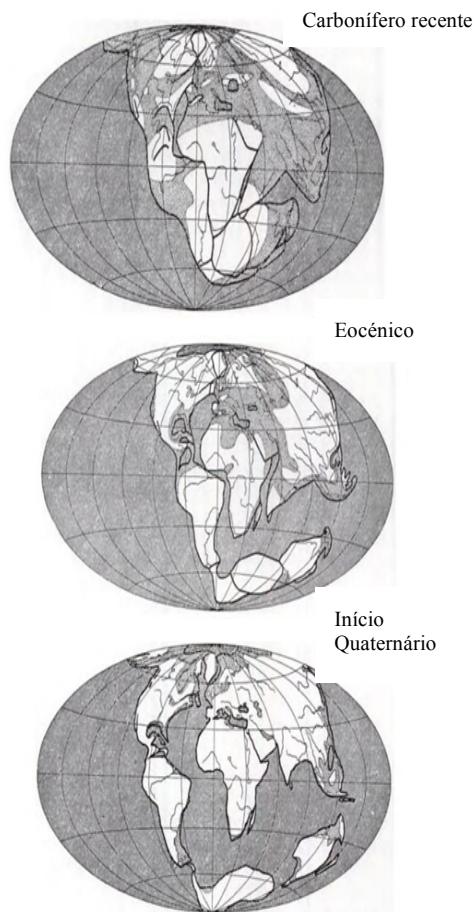


Fig. III.3 - Reconstrução do mapa mundo de acordo a teoria da deriva dos continentes (Adaptado de Wegener, 1966, p.18).

Relativamente aos argumentos morfológicos, baseou-se na morfologia das margens dos continentes que encaixavam à semelhança de peças de puzzle, sendo mais evidente nas margens atlânticas da América do sul e de África.

Ao verificar a morfologia das margens dos continentes, Wegener, foi procurar evidências litológicas que indicassem a união desses continentes. Assim, encontrou correspondência litológica em termos de tipo de rochas e idades das mesmas, camadas de carvão, estruturas geológicas e depósitos minerais (Fig. III.4).

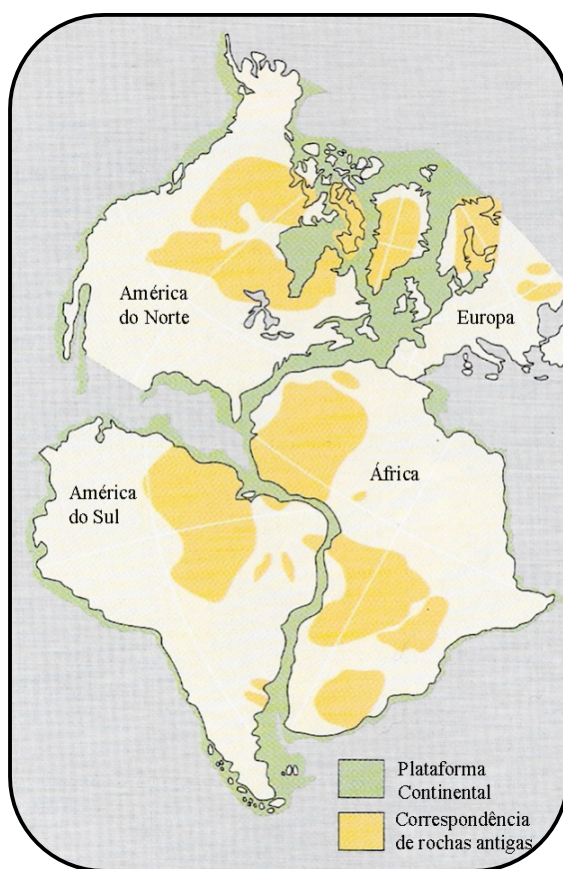


Fig. III.4 – Localização de depósitos do mesmo tipo de rochas (Adaptado de Press & Siever, 1999, p. 506).

Wegener para fundamentar o seu modelo apoiou-se na distribuição geográfica de fósseis em continentes que atualmente estão geograficamente muito separados. O seu estudo centrou-se em dois tipos de fósseis: o *Mesosaurus*, um pequeno réptil do Pérmico, e o *Glossopteris*, flora do Carbónico e do Pérmico (Fig. III.5).

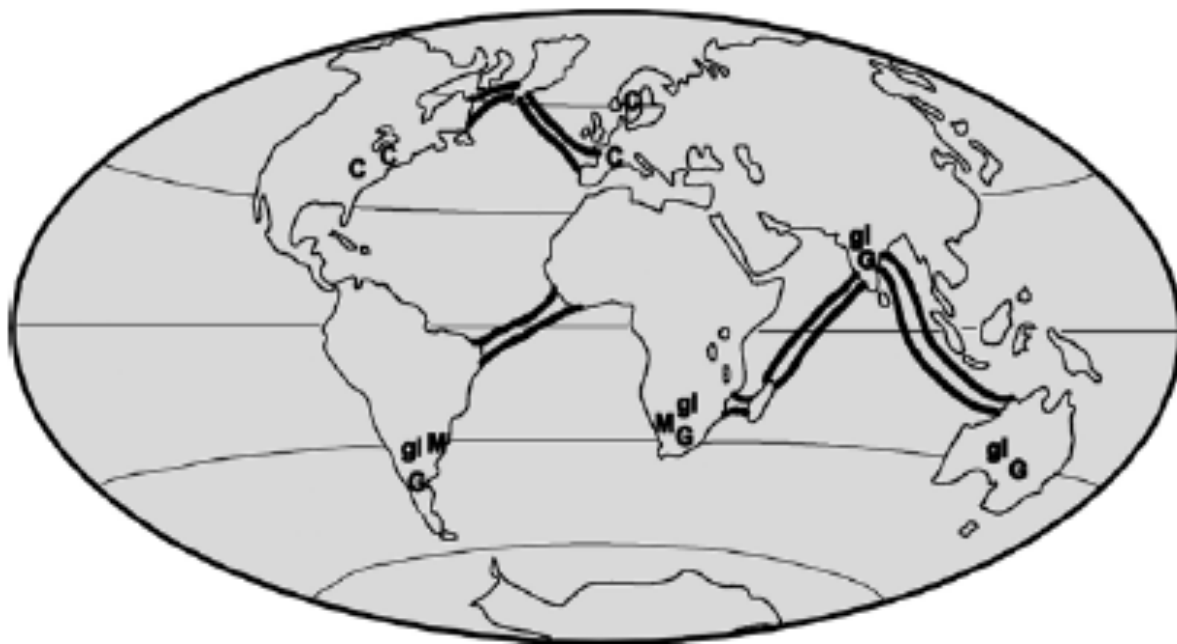


Fig. III.5 – Localização atual dos fósseis e indicadores paleoclimáticos do Permocarbonífero. As pontes de terra eram necessárias para justificar a existência de fósseis semelhantes em continentes distantes. (M) répteis mesossaurídeos; (gl) flora Glossopteris; (g) depósitos glaciares e (c) carvão (Extraído de Lavina, 2010, p. 290).

Tendo formação académica em meteorologia, Wegener interpretou e reconstituiu os climas do passado, através do estudo de marcas de erosão provocadas pelo gelo de glaciares em continentes que estão atualmente em zonas de clima tropical (Fig. III.6). Na Europa desenvolvia-se uma luxuriante floresta, dados que seriam impossíveis de explicar segundo as teorias fixistas (Celino & Leite, 2001).

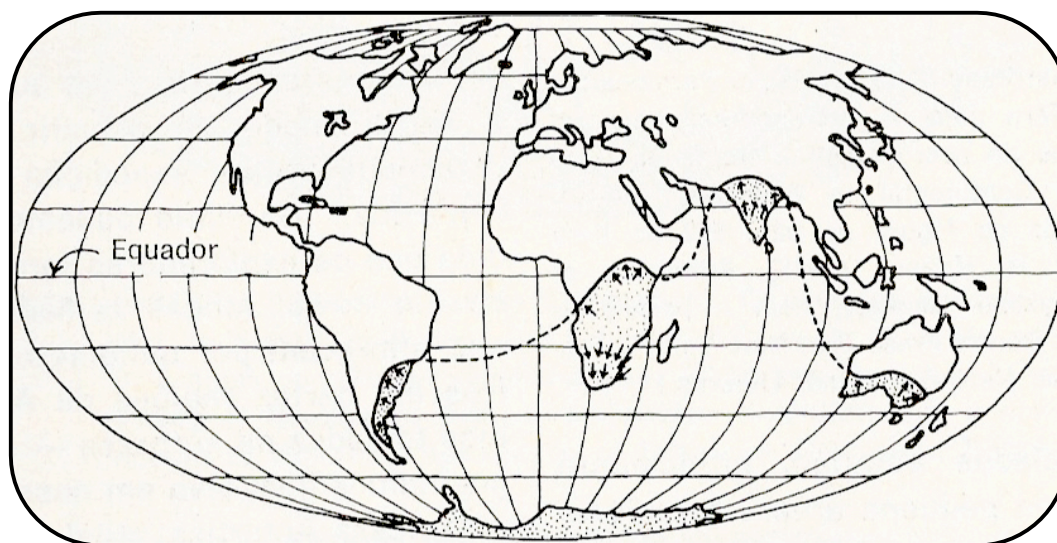


Fig. III.6 – Distribuição da glaciação Permocarbonífera. As setas indicam a direção do movimento do gelo (Extraído de Takeuchi et al., 1974, p. 37).

Wegener, estava convencido que a Gronelândia se encontrava a separar-se da Europa e que tal era possível ser provado quer por transmissões por rádio, quer por medições geodésicas (Pedrinaci, 2001). Ele calculou os deslocamentos entre a Gronelândia e a Europa, em diferentes expedições que fez à Gronelândia. Assim, refere que os deslocamentos entre 1823 a 1870 foram de 420 m (= 9 m/ano) e de 1870 a 1907 consistiram em 1190 m (= 32 m/ano). Tendo apontado como erro médio de 124 m para as observações efetuadas em 1823 e 1870, e de 256 m para as levadas a cabo em 1907 (Wegener, 1966, p. 27). Estes argumentos que ele considerava como irrefutáveis⁴¹ e que colocou em primeiro lugar no seu modelo teórico acabaram por ser os que menos peso tiveram no posterior debate da sua teoria. Wegener cometeu muitos erros de medição e sobrestimou o ritmo de separação da Europa e América do Norte (Pedrinaci, 2001), justificados por à época haver pouco desenvolvimento tecnológico.

Wegener tentou incluir, de alguma forma, mecanismos que pudessem ter causado a deriva continental, (isto é, o seu deslizamento horizontal) para convencer a comunidade científica da época. Assim, referiu que: i) os continentes são constituídos por materiais menos densos que as bacias oceânicas; ii) o material que está por baixo

⁴¹ Wegener morreu em 1930 durante uma expedição à Gronelândia para realizar mais medições meteorológicas (Rosso, 2003).

dos continentes também se encontra debaixo dos oceanos e é a diferença de densidade que permite aos continentes “flutuarem” em equilíbrio isostático sobre o substrato oceânico mais denso; iii) os continentes conseguem deslocar-se sob o substrato porque este é altamente viscoso e iv) as cadeias montanhosas, os oceanos, os terremotos, os vulcões são motivados pelo movimento horizontal e interação entre os continentes. Nos dois primeiros pontos, Wegener baseou-se na teoria da isostasia e no terceiro ponto, no conceito de deslocamento sobre um substrato, o qual apesar de ser usado na geologia não era suficiente para explicar grandes movimentos horizontais (Celino & Leite, 2001; Celino, Marques & Leite, 2003; Muñoz, 2012).

Os argumentos apresentados por Wegener foram rebatidos pela comunidade científica durante o período de 1920 e 1930, apesar da deriva continental apresentar uma possível explicação da formação das cadeias montanhosas. Em 1928 realizou-se, em Nova Iorque, um simpósio sobre a deriva continental no qual foram debatidos os prós e os contra do modelo teórico proposto por Wegener (Takeuchi et al., 1974; Muñoz, 2012). Os opositores referiram algumas objeções (Takeuchi et al., 1974):

- i) Wegener não refere qual é a força que poderia ter arrastado os continentes sobre o manto, a explicação dada por ele é muito débil;
- ii) incongruências sobre a rigidez da crosta, uma vez que ela não pode ser ao mesmo tempo mais rígida do que o manto (o que explicaria os movimentos horizontais da massa continental sobre o manto) e mais frágil do que o manto (o que explicaria a formação das cadeias montanhosas nas margens frontais dos continentes, ou seja, a massa continental ao encontrar resistência do manto, sob compressão, formaria as montanhas dobradas) e
- iii) sendo a história da Terra tão vasta é de estranhar que a migração dos continentes esteja confinada a um período tão recente. Contudo, um dos grandes méritos atribuídos a Wegener é o facto deste ter reunido e ordenado as distintas evidências que apoiavam o seu modelo teórico.

No final do simpósio foi admitido que apesar da migração dos continentes não ter sido devidamente explicada e justificada, a explicação apresentada com a da deriva dos continentes era mais aceitável para a explicação da distribuição paleontológica do que a das pontes continentais (Takeuchi et al., 1974).

Wegener tinha consciência que o ponto mais fraco da sua teoria era a origem das forças responsáveis pelos movimentos horizontais das massas continentais. Assim, sugeriu duas forças: i) a fuga polar, que atua movendo os continentes sobre o substrato

até ao equador; tratar-se-ia de uma força centrífuga devido à rotação terrestre e ii) a força mareal, que seria responsável pela deriva até oeste, devido à atração do Sol e da Lua que provocaria um atraso na rotação terrestre de tal forma que afetaria mais a crosta externa do que a interna (Pedrinaci, 2001). Wegener (1966) terminou o capítulo nove, do seu livro, referindo-se às forças dos movimentos horizontais. Segundo o mesmo autor, o problema das forças que terão produzido e produzem a deriva dos continentes encontram-se em seus inícios. As forças que são responsáveis pelo movimento dos continentes são as mesmas que produzem as grandes cadeias montanhosas dobradas. Movimentos horizontais dos continentes, fraturas e compressões, terremotos, vulcanismo, ciclos transgressivos e deriva polar encontram-se inevitavelmente conectados casualmente a grande escala. Contudo, Wegener, afirmou que o que é causa e o que é efeito é algo que só o futuro desvendará.

A deriva poderia, então, explicar a formação de montanhas nas bordas dos continentes e no interior deles.

Wegener contou com o apoio de alguns geólogos mobilistas, dos quais se destacam o suíço Emile Argand, o britânico, Arthur Holmes e o sul africano Du Toit. Este último propôs o termo Laurásia para representar a massa continental antiga que continha a América do Norte, a Europa e a Ásia (Takeuchi et al., 1974). Em 1929, Holmes (1890-1965) defendia que as temperaturas elevadas reduziam de maneira substancial a rigidez dos materiais e a existência de correntes de convecção no interior terrestre eram responsáveis pela deriva dos continentes. Du Toit forneceu novos dados sobre as semelhanças entre África do Sul e a América do Sul (Fig. III.7).



Fig. III.7 – Mapa realizado por Alexandre du Toit
(Extraído de Pedrinaci, 2001, p.61).

Se entre os europeus, em especial os britânicos, as ideias de Wegener tinham alguma aceitação, para os americanos eram totalmente refutáveis. Estes, estavam comprometidos com o método das múltiplas hipóteses e o trabalho de Wegener constituía uma violação. Para os americanos o método científico, era empírico, indutivo e requeria evidências observadas à luz das possíveis alternativas explicativas. Além disso, a deriva de Wegener era incompatível com o uniformitarismo, princípio defendido pelos americanos que usavam o presente para interpretar o passado (Oreskes, 2001).

No final de 1930, a deriva continental estava praticamente esquecida. O conhecimento pioneiro sobre a morfologia dos fundos oceânicos iniciou-se com o Challenger (Fig. III.8)⁴², que realizou, ao serviço da coroa inglesa, várias medições batimétricas dos oceanos Atlântico e Pacífico. Mas, é com o fim da Segunda Guerra Mundial (1939-1945) que o desenvolvimento tecnológico com fins militares acabou por ser bastante importante para o avanço científico. Nesta altura já ninguém falava dos movimentos horizontais dos continentes. Durante a década de 50 a oceanografia adquiriu um importante desenvolvimento. Os americanos e os russos iniciaram várias investigações militares quer para a deteção de submarinos quer para a realização da cartografia do fundo marinho, utilizando o sonar. Foram elaborados mapas precisos com

⁴² U. S. Geological Survey. (s/d). Glomar Challenger. Disponível em URL: <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/glomar.html>, consultado em janeiro de 2016.

a topografia dos fundos oceânicos nos quais estão representadas grandes cordilheiras meso-oceânicas (como a do Atlântico, a do Índico e a do Pacífico) e enormes fossas (como as das Marianas, no Pacífico).



Fig. III.8 – Foto do Glomar Challenger⁴². Primeiro navio de investigação especificamente concebido na década de 1960 com o objetivo de perfurar e adquirir amostras do fundo do oceano.

Desde, então, várias expedições aos fundos oceânicos têm sido efetuadas com os mais diversos objetivos, nomeadamente, o estudo de existência de vida. Assim, realçamos a sondagem levada a cabo pelo navio Chikyu (Fig. III.9)⁴³, em 2012, onde foram detetados vestígios de vida em camadas de carvão com mais de 20 M.a. Os cientistas encontraram evidências de que mesmo a grandes profundidades (mais de 2km) os microrganismos persistem.

⁴³ American Association for the Advancement of Science (2016). Deep-sea drilling expedition to look for life's limits in scalding environments. Disponível em: <http://www.jamstec.go.jp/chikyu/e/exp370/>), consultado em dezembro de 2016.



Fig. III.9 – Navio Chikyu.⁴³

Na década de 1950, a teoria da deriva continental foi reavivada quando geofísicos britânicos estudavam o magnetismo das rochas com o intuito de conhecer o campo magnético terrestre. Esses estudos foram levados a cabo por dois grupos, um liderado por P. Blackett (1897-1974), do Imperial College, e outro liderado por S. Runcorn (1922-1995), de Cambridge. Ambos, encontraram evidências que as rochas se tinham deslocado relativamente ao pólo magnético terrestre pelo que, ou os continentes ou os pólos se tinham movido (Oreskes, 2001). Inspirado nestes resultados, o geólogo americano Harry Hess (1906-1969) reavivou os estudos de Arthur Holmes⁴⁴, que referiam correntes de convecção que originaram movimentos continentais. Hess sugeriu que a convecção do manto impulsiona a crosta nas cristas médio-oceânicas forçando às migrações continentais. Está explicada a força da deriva.

Os americanos e os britânicos, depois da II Guerra Mundial, recolheram e analisaram uma série de dados dos fundos oceânicos e em 1966 confirmaram a hipótese de Vine-Matthews-Morley (Fig. III.10), a qual afirmava que se a hipótese de

⁴⁴ Holmes, em 1965, publica *Principles of physical geology* onde propõe um modelo da estrutura interna da Terra e desenvolve as correntes de convecção do manto.

Hess estivesse correta, então haveria um padrão simétrico de inversão magnética nas rochas em torno das cristas médias dorsais idêntico ao exibido pelas rochas vulcânicas (Junges, 2013; Oreskes, 1999). Nos anos seguintes os trabalhos de Tuzo Wilson, Jason Morgan, D. P. Mackenzie e X. Le Pichon levaram de uma forma muito rápida ao surgimento da teoria da tectónica de placas que é apresentada por Jason Morgan, com auxílio de Vine, num encontro da *American Geophysical Union* sendo aceite pela comunidade científica (Celino, Marques & Leite, 2003).

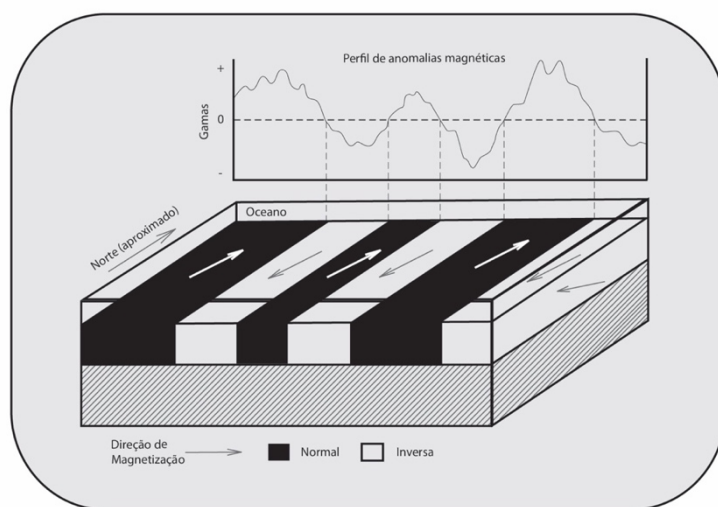


Fig. III.10 – Representação das bandas magnéticas do fundo oceânico.
(Adaptado de Wyllie, 1995, p.176).

Segundo a teoria da tectónica de placas, a litosfera, camada sólida e superficial da superfície terrestre, encontra-se dividida em cerca de doze grandes placas tectónicas principais, (Fig. III.11)⁴⁵, que se deslocam sobre a astenosfera parcialmente fundida (Press & Siever, 1999).

⁴⁵ U.S. Geological Survey (s/d). This dynamic planet. Disponível em URL: <https://pubs.usgs.gov/imap/2800/TDPfront.pdf>, consultado em janeiro de 2016.

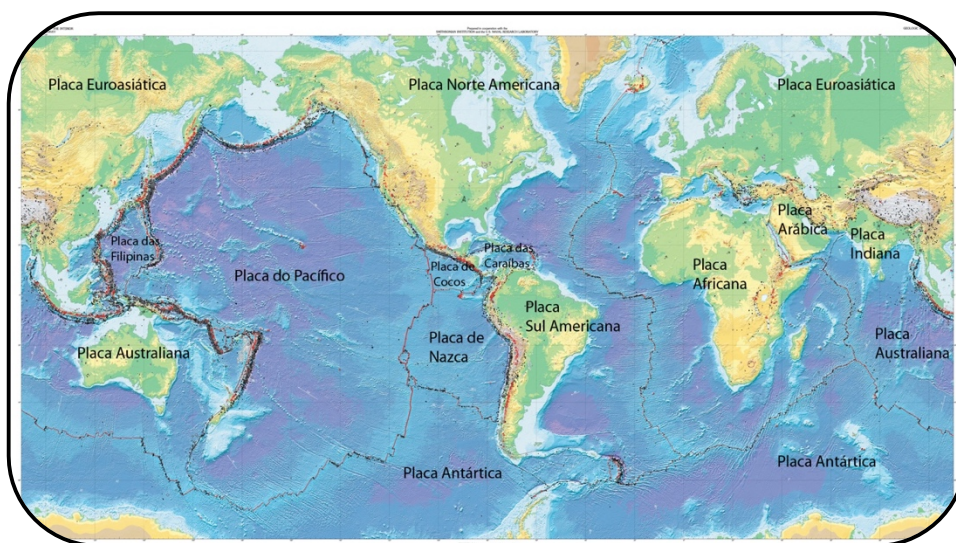


Fig. III.11 – Representação das principais placas tectônicas a nível mundial (Adaptado de <https://pubs.usgs.gov/imap/2800/TDPfront.pdf>)

Segundo Press & Siever (1999), há três tipos de limites de placas:

- i) limites convergentes, tipicamente fossas oceânicas, cordilheiras montanhosas e arco continental;
- ii) limites divergentes, tipicamente de dorsais oceânicas e riftes;
- iii) limites transformantes.

Nos limites convergentes as placas tectônicas colidem, originando uma série de fenómenos e estruturas que dependem da natureza do material que compõe a crosta terrestre, a qual, se divide em crosta continental e crosta oceânica. A crosta continental tem em média cerca de 30 km de espessura (pode chegar aos 70 km, caso dos Himalaias) e é constituída essencialmente por rochas de composição granítica de baixa densidade. A crosta oceânica é constituída por uma camada de sedimento por baixo da qual existem rochas de composição basáltica, de alta densidade, com uma espessura média entre 5-10 km (Bezzeghoud, 2012).

Hodiernamente, verifica-se a existência de três tipos de convergência de placas:

- a) convergência entre crosta continental e oceânica.

Quando há colisão entre uma placa tectónica de crosta continental com uma de crosta oceânica, esta, por ser mais fina, mais densa e fria tende a ser subductada, isto é, a mergulhar sob a placa continental (Fig. III.12). Como resultado dessa subducção há uma intensa atividade vulcânica e sísmica,

formação de cadeias montanhosas (na crosta continental) e faixas de rochas dobradas. A crosta oceânica que tende a ser destruída nas fossas oceânicas é construída, sensivelmente na mesma proporção, nos riftes das dorsais oceânicas (Press & Siever, 1999).



Fig. III.12 – (a) Representação da colisão de uma placa oceânica com uma placa continental (Adaptado de Press & Siever, 1999, p. 512).

Por vezes, sucedem processos de obducção (Fig. III.13) que correspondem à crosta oceânica que cavalga a crosta continental. Este fenómeno ocorre em algumas zonas do sudoeste do Pacífico, nas ilhas da Nova Guiné, e em Omán - península Arábica (Shervais, 2001).

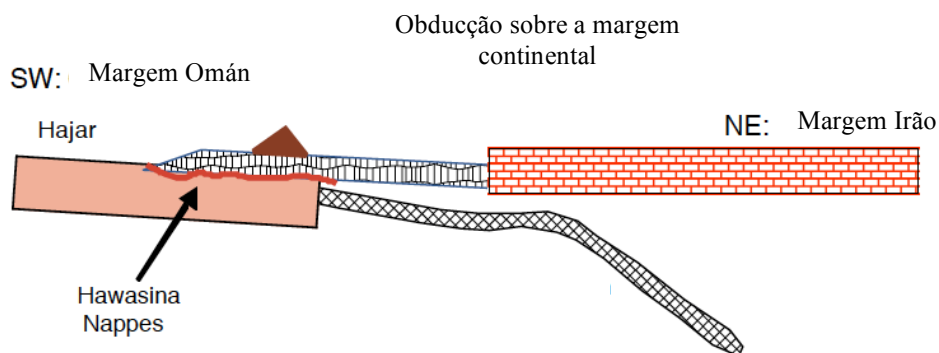


Fig. III.13 – Representação da obducção da zona de Omán (Adaptado de Shervais, 2001, p. 512).

b) convergência entre crusta oceânica e crusta oceânica

A convergência entre duas placas de crusta oceânica resulta, tal como a colisão entre crusta oceânica e crusta continental, numa subducção (Fig. III.14). A placa oceânica que é subductada é a mais antiga pois além de ser mais densa é mais fria, já que se encontra mais afastada da dorsal médio oceânica (Fig. III.15). Há intenso vulcanismo ao longo da zona de subducção responsável pela formação de arcos insulares, isto é, alinhamento de ilhas vulcânicas que se formam paralelamente ao longo da convergência de duas placas litosféricas oceânicas (Press & Siever, 1999).

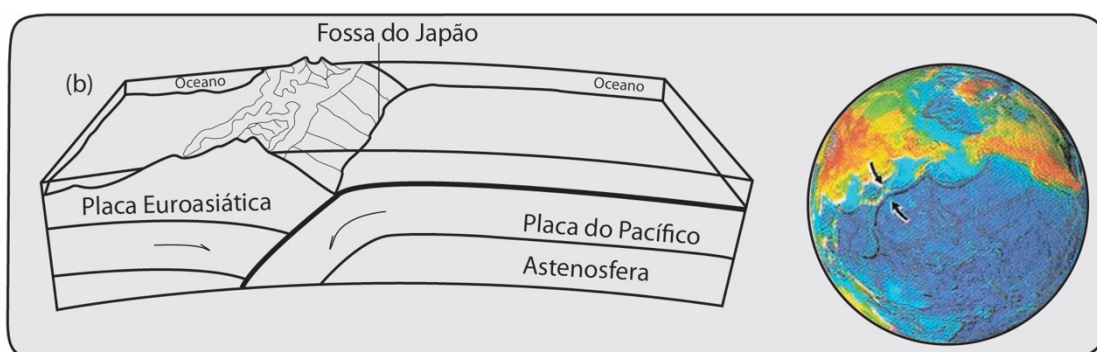


Fig. III.14 – (b) Representação da colisão de uma placa oceânica com uma placa oceânica (Adaptado de Press & Siever, 1999, p. 512).

A figura seguinte representa a zona do Pacífico na atualidade, em que a placa subductada é a mais fria, mais densa e mais antiga.

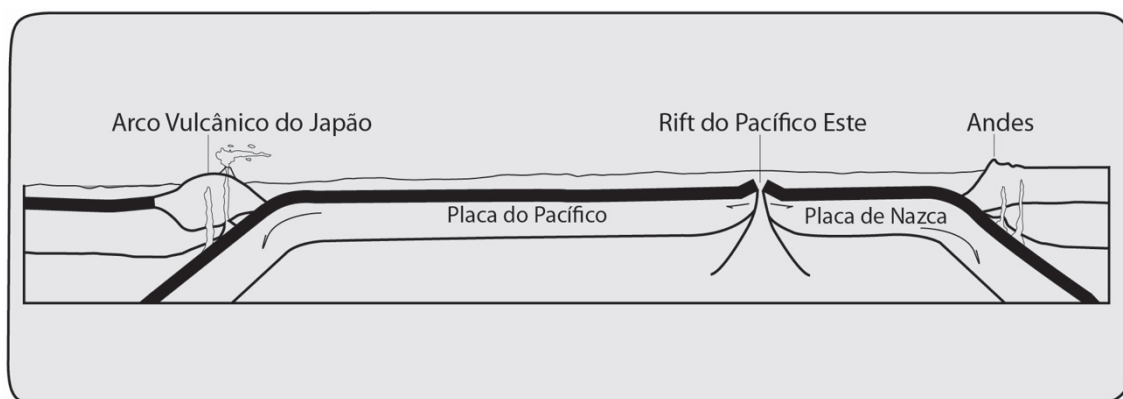


Fig. III.15 – Representação dos limites de placas no Pacífico, tal como existem hoje, na convergência de duas placas oceânicas (Adaptado de Press & Siever, 1999, p. 513).

c) colisão entre crosta continental e crosta continental

Numa situação de convergência de duas placas continentais, como a densidade é demasiado leve comparativamente com o manto e como ambas têm sensivelmente a mesma densidade, nenhuma tende a ser subductada (Fig. III.16). Assim, geram-se cadeias montanhosas devido à ação de grandes forças compressivas responsáveis pelo dobramento e carreamento das rochas. Também ocorrem fenómenos de atividade vulcânica e sísmica (Press & Siever, 1999).

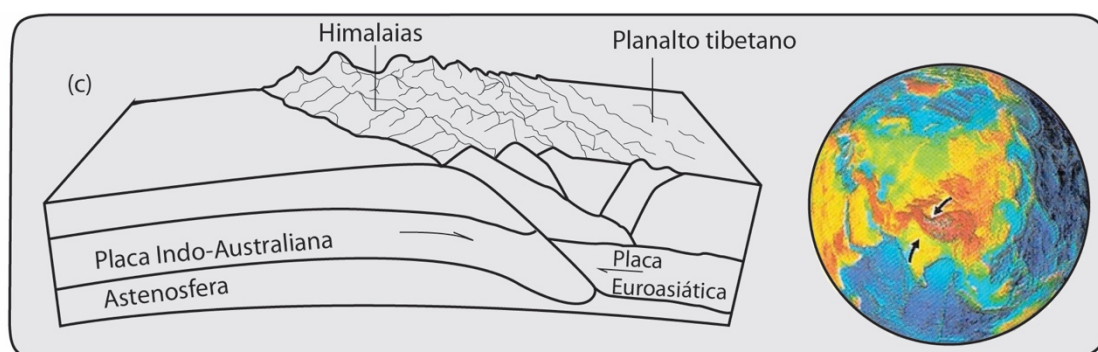


Fig. III.16 – (c) Representação da colisão de uma placa continental com uma placa continental (Adaptado de Press & Siever, 1999, p. 512).

Nos limites divergentes, devido à abertura de um rifte (uma fenda) as placas litosféricas afastam-se e é expelido material mantélico (Fig.III.17). São zonas que correspondem à formação de nova crosta, ao invés dos limites convergentes que correspondem a zonas de destruição de crosta, uma vez que o material mantélico libertado no rifte arrefece e origina nova litosfera. A génese de nova crosta oceânica pode ocorrer tanto no seio de placas litosféricas constituídas por crosta oceânica ou como no seio de placas tectónicas constituídas por crosta continental. Quando o rifte está localizado numa placa de crosta oceânica leva à expansão dos fundos oceânicos e consequentemente ao afastamento dos continentes. São zonas caracterizadas por uma ativa atividade vulcânica basáltica, atividade sísmica superficial e falhas normais causadas por forças distensivas (Press & Siever, 1999).

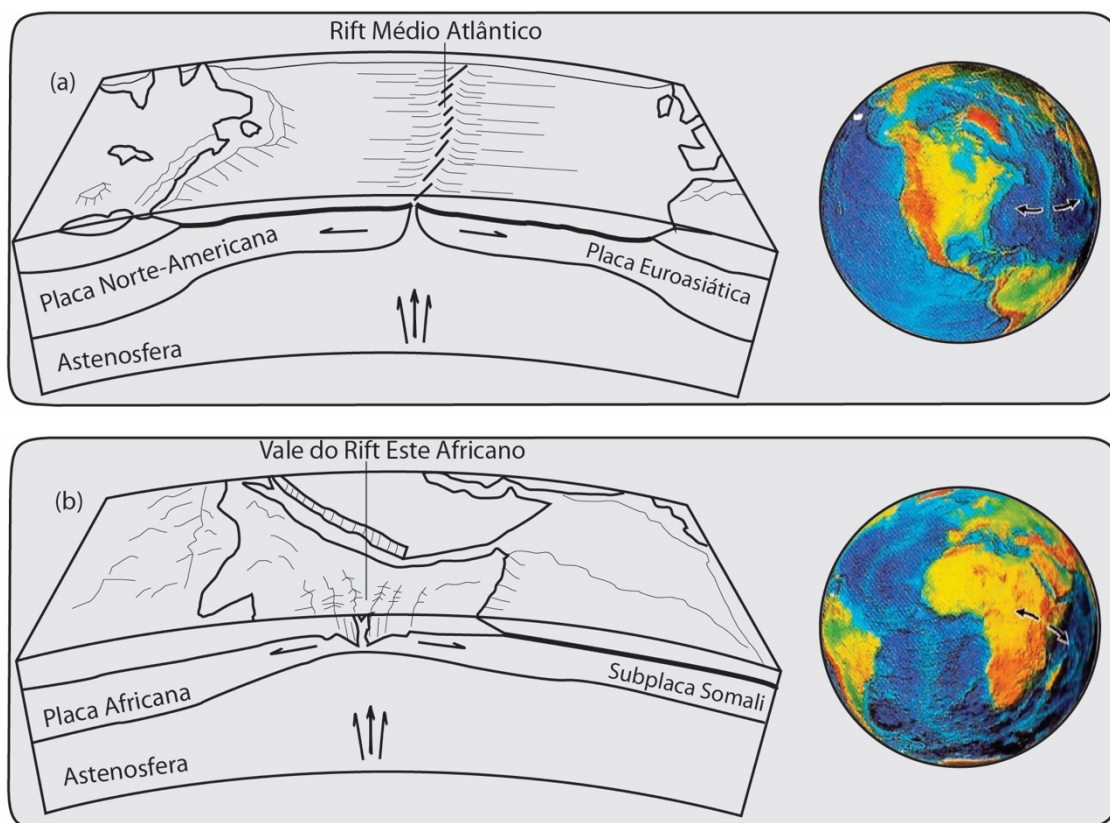


Fig. III.17 – (a) Zona de rifte e dorsal médio oceânica Atlântica. (b) Início da formação de um rifte em placas continentais (intracontinental) originando a sua separação (Adaptado de Press & Siever, 1999, p. 510).

Nos limites de placas surgem, por vezes, falhas transformantes (Fig. III.18). Nestas zonas não há nem destruição nem construção de crosta, emerge apenas atrito entre elas devido à movimentação paralela. Pelo que, é uma região onde ocorre forte atividade sísmica, mas não há atividade vulcânica.

É possível encontrar falhas transformantes nos fundos oceânicos que atravessam transversalmente as cristas médio-oceânicas bem como na crosta continental como é o caso da falha de Santo André, na Califórnia (EUA), que separa a placa Norte Americana da placa do Pacífico (Press & Siever, 1999).

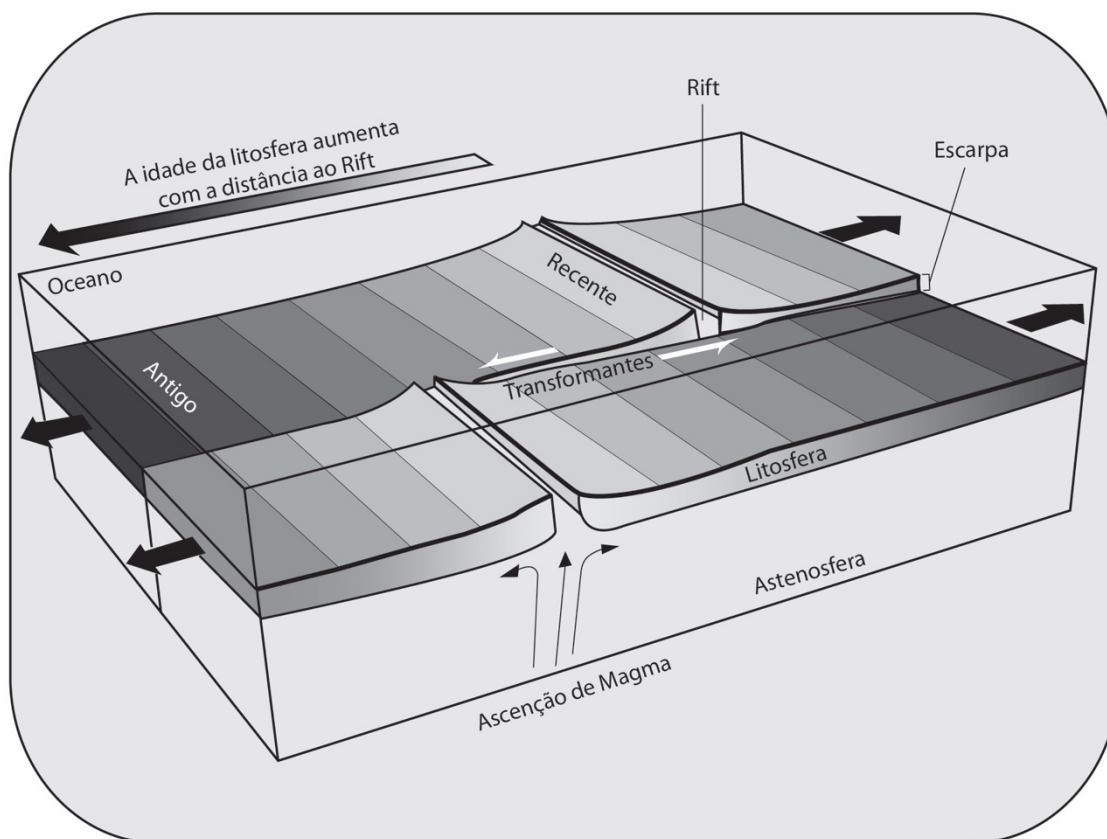


Fig. III.18 – Representação de limites divergentes nos fundos oceânicos com a formação de falhas transformantes (Adaptado de Press & Siever, 1999, p. 513).

A tectónica de placas foi aceite, há cerca de 50 anos, como teoria integradora. A sua aceitação pela comunidade científica implicou uma mudança de paradigma na geologia, pois pela primeira vez uma teoria englobava diversos processos geológicos e explicava-os na globalidade (Grotzinger et al., 2007). A teoria da tectónica de placas foi um resultado de conhecimentos decorrentes de áreas como a meteorologia, paleomagnetismo, petrologia de rochas submarinas, estratigrafia sísmica, paleogeografia, mapeamento oceânico, biogeografia, geocronologia isótopa, entre outras (RundiĆ, 2012).

O estudo da tectónica de placas é o suporte para a interpretação da dinâmica terrestre responsável pela deformação das rochas (Davis & Reynolds, 1996) que estão na origem de estruturas geológicas que ocorrem nos bordos das placas litosféricas.

III.2.1 Formação de cordilheiras montanhosas: o caso dos Himalaias

Grande parte das cordilheiras montanhosas existentes no nosso planeta, resultam de fenómenos compressivos, isto é, da convergência de placas litosféricas. Durante esses movimentos podem ocorrer processos de subducção, de obducção e, numa última fase de colisão (Virella & Serrano, 1991).

Os Himalaias são uma cordilheira montanhosa situada na placa Euroasiática resultante da colisão com a placa Indiana. À cerca de 60 M.a. que a placa Indiana se move para norte (Fig. III.19) tendo começado a sofrer subducção sob a placa Euroasiática, destruindo a crosta oceânica que a separava da Ásia. A crosta oceânica ao colidir com a placa Euroasiática, subductou originando fenómenos de vulcanismo e intrusões graníticas, consequentes da fusão parcial, engrossando a crosta da placa Euroasiática (Press & Siever, 1999).

O subcontinente indiano colidiu com o Tibete, à cerca de 40 a 60 M.a., e a sua baixa densidade impediu que mergulhasse no manto pelo que começa um longo processo de deformação. A bacia oceânica existente entre os dois continentes fechou e o processo de subducção deu origem a um processo de obducção (Fig. III.20).



Fig. III.19 – Representação do movimento do cratão indiano entre os 80 e 10 milhões de anos atrás (Adaptado de Stanley, 1998, p. 250).

À cerca de 10 a 20 M.a., um novo conjunto de falhas formou-se, essencialmente inversas, que levou ao empilhamento de uma outra porção de crosta sobre o continente indiano, gerando por indução o levantamento das camadas que estavam por cima.

A cordilheira dos Himalaias é um exemplo típico de uma sucessão de subducção-obducção-colisão (Fig. III.21).

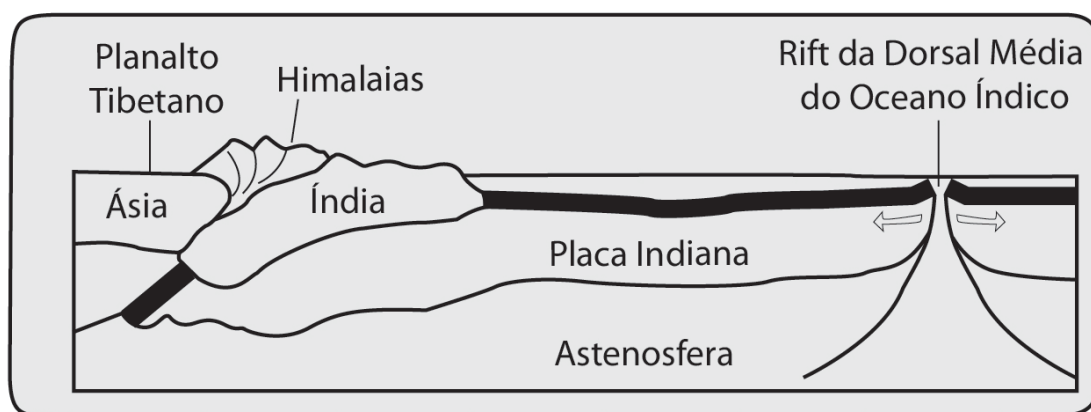


Fig. III.20 – Representação da colisão da placa continental com placa continental (Adaptado de Press & Siever, 1999, p. 513).

A Fig. III.21 representa os processos da formação da cordilheira montanhosa dos Himalaias, com a subducção da placa Indiana sobre a Euroasiática, a colisão do subcontinente indiano com o Tibete e o cavalgamento da placa Indiana sobre o Tibete.

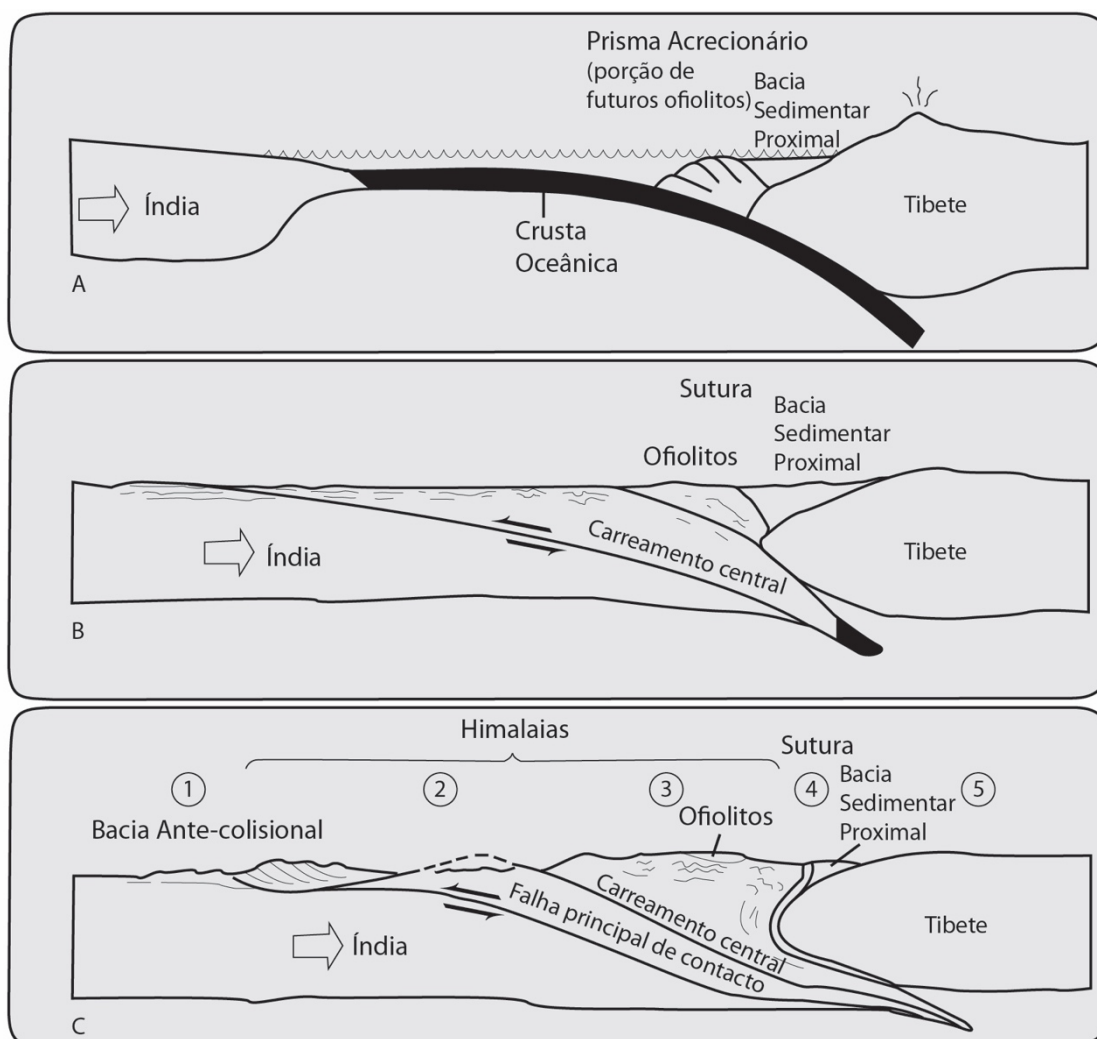


Fig. III.21 – Representação simplificada da orogenia dos Himalaias. (a) Subducção da placa Indiana sob a placa Euroasiática; (b) Colisão do subcontinente indiano com o Tibete; (c) Cavalgamento da placa Indiana sobre o planalto do Tibete (Adaptado de Stanley, 1998, p. 251).

III.3 Deformação das rochas

A deformação, processo que altera a forma (Park, 2005) das rochas depende: i) do tipo de material inicial, da sua textura e estrutura (Fossen, 2010) e ii) do tipo e intensidade da força atuante.

Relativamente ao ponto um, a natureza das rochas, a forma como estas se comportam sob determinadas tensões depende de fatores inerentes à própria rocha, tais como a heterogeneidade dos minerais e anisotropia mecânica bem como de fatores

externos, como a localização da rocha na crosta terrestre, do tempo de atuação das forças, da pressão litostática e da temperatura (Press & Siever, 1999). Uma força pode ser insuficiente para fraturar uma determinada rocha quando aplicada instantaneamente mas se o tempo de atuação da força for prolongado, essa mesma força, pode provocar uma deformação plástica. A aplicação constante de uma força faz com que inicialmente a rocha apresente um comportamento elástico até atingir o seu ponto de cedência, rutura (Virella & Serrano, 1991).

Quanto ao ponto dois, as forças tectónicas podem ser de três tipos (Fig. III.22): i) forças compressivas, que comprimem um corpo rochoso e ocorrem em limites de placas convergentes; ii) forças de tensão, que esticam o corpo rochoso, emergindo em limites divergentes de placas e iii) forças de cisalhamento, atuam paralelamente mas em direções opostas como é o caso dos limites transformantes (Press & Siever, 1999).

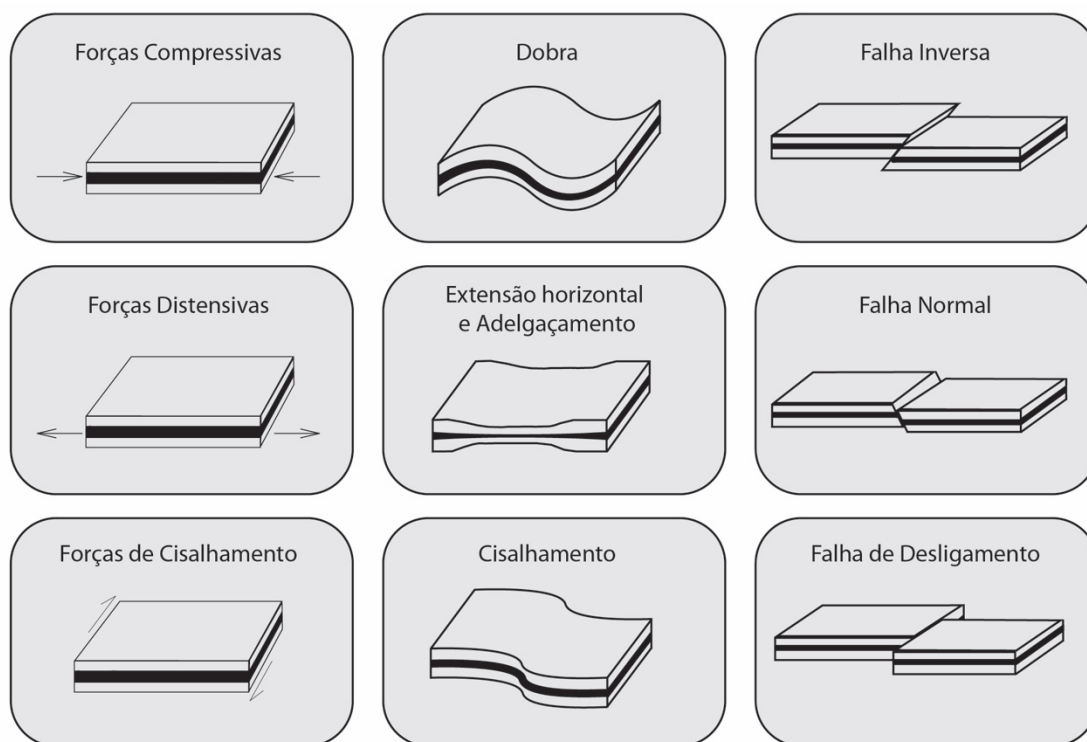


Fig. III.22 – Representação da deformação das rochas quando sujeitas a diferentes forças tectónicas.

Contudo, a deformação das rochas, tal como já foi referido, também depende da intensidade da força atuante. Se uma rocha for sujeita a uma força de pequena

intensidade, independentemente do tipo de força (compressiva, trativa ou desligamento) a deformação não é permanente. No entanto, se a força aplicada for de maior intensidade, a rocha sofrerá uma deformação permanente, isto é, não volta ao seu estado inicial (Press & Siever, 1999).

III.3.1 Formação de dobras

As dobras, estruturas tectónicas comuns, consistem num encurvamento resultante da deformação das rochas que têm uma estrutura original planar, como estratos sedimentares ou estruturas anisotrópicas, tais como a xistosidade e a clivagem evidentes nas rochas metamórficas (Press & Siever, 1999). Essa deformação advém de efeitos de forças compressivas associadas a movimentos tectónicos convergentes.

Cada dobra individual é delimitada por três partes distintas, a linha da charneira e dois flancos, um de cada lado (Fig. III.23). Pelo que, quando há duas dobras contíguas elas partilham o mesmo flanco.

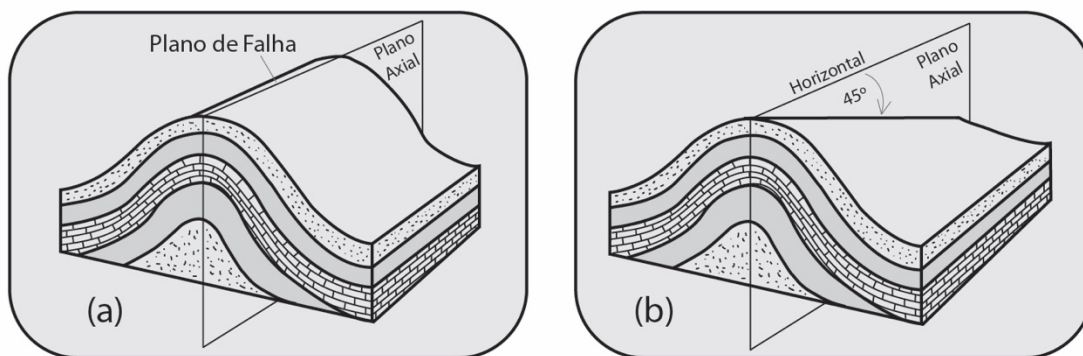


Fig. III.23 – Representação dos elementos geométricos de uma dobra.

De acordo com o plano axial da dobra, elas são classificadas em: i) dobras simétricas, se o plano axial é vertical; ii) dobras assimétricas, se o plano axial é inclinado e iii) dobras viradas, se o plano axial é tombado (Fig. III.24).

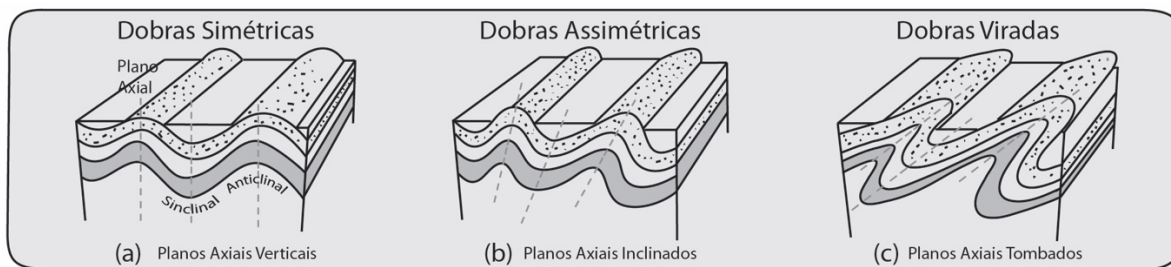


Fig. III.24 – Representação de dobras a) simétricas; b) assimétricas e c) tombadas. (Adaptado de Press & Siever, 1999, p. 251).

A assimetria de uma dobra resulta do aumento da intensidade das forças compressivas num dos flancos da dobra, comparativamente com o outro. Este tipo de dobras é mais frequente em zonas de limites convergentes de placas tectónicas (Chernicoff & Venkatakrishnam 1995).

III.3.2 Formação de falhas

As falhas são superfícies de rutura com relativo movimento entre os blocos que separa. Enquanto as dobras são causadas, normalmente, por forças de compressão, as falhas podem resultar dos três tipos de forças: compressiva, tensional e de desligamento (Press & Siever, 1999). Estes três tipos de forças são particularmente intensas nos limites das placas tectónicas, quer convergentes quer divergentes.

As falhas podem ser classificadas de acordo com a direção do plano de falha (superfície ao longo da qual ocorre a rutura e o movimento relativo) e o tipo de movimento produzido ao longo desse mesmo plano de falha. Segundo Press & Siever (1999) existem falhas normais que resultam da ação de forças distensivas, onde o teto desce relativamente ao muro (Fig. III.25).

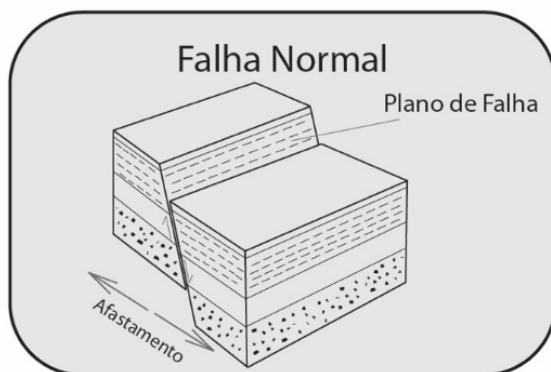


Fig. III.25 – Representação de uma falha normal.

Falhas inversas que resultam da ação de forças compressivas, onde o teto sobe relativamente ao muro (Fig. III.26)

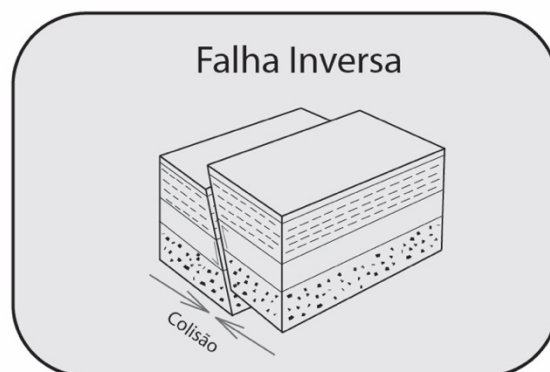


Fig. III.26 – Representação de uma falha inversa.

Também há falhas de desligamento que se devem a forças de cisalhamento horizontais e opostas e possuem planos de falha verticais (Fig. III.27).



Fig. III.27 – Representação de uma falha oblíqua.

As falhas de desligamento quando associadas aos limites de placas tectónicas também são designadas de falhas transformantes.

CAPÍTULO IV: Fundamentação Educacional e Programa de Intervenção

IV.1 Introdução

O Programa de Intervenção (PI), que decorreu no ano letivo 2015/2016, foi delineado com base na perspetiva de ensino orientado para a investigação (*Inquiry-based teaching*) que tem sido referida na literatura da especialidade como potenciando o desenvolvimento, no aluno, de raciocínio científico e capacidades investigativas (Vasconcelos et al., 2015). A utilização da modelação como estratégia permite que os modelos mentais dos alunos se aproximem dos modelos veiculados pela ciência escolar. Os modelos são também considerados auxiliares no desenvolvimento do raciocínio por analogia e do raciocínio histórico-interpretativo.

Nos últimos anos têm aparecido trabalhos investigativos sobre o uso de modelos a nível educacional, os quais evidenciam as suas potencialidades. Tais como, por exemplo: i) o desenvolvimento de capacidades associadas ao processo de investigação científica, ii) a representação aproximada de uma parte da realidade e a promoção da sua compreensão, por parte dos alunos, e iii) a construção de modelos mentais mais concordantes com o raciocínio científico (Justi, 2006). Como tal, no nosso trabalho recorreremos à modelação como estratégia de ensino baseado em modelos. E é com base na classificação dos modelos físicos para o ensino segundo Vasconcelos e colaboradores (2014) que realizamos os modelos e a modelação no PI que aplicamos no estudo.

No final do PI os alunos deveriam compreender que os modelos para o ensino, utilizados eram físicos, dinâmicos, com algumas similaridades com o objeto de estudo, e não análogos.

Como já referido, na presente investigação foram selecionados conteúdos de unidades curriculares de geologia do 7º ano de escolaridade por serem, tradicionalmente, menos bem compreendidas pelos alunos. Por outro lado, a escolha

das temáticas *Compreender os fundamentos da estrutura e da dinâmica da Terra e Dobras e cavalgamentos* prendeu-se com o facto de os alunos se depararem com conceitos espaciais e temporais quase sempre incompreendidos por eles. Por isso, procurou-se com esta intervenção contribuir para a alteração da imagem dos alunos relativamente à geologia e que desenvolvessem raciocínios de analogia e interpretativos, bem como capacidades associadas com o processo de investigação científica. Destas capacidades destacam-se o observar, legendar, esquematizar, questionar e formular hipóteses.

A implementação do PI decorreu durante o 1º período e implicou que a professora-investigadora tivesse que:

- planificar as atividades tendo em conta a perspetiva de ensino (orientado para a investigação) e metodologia utilizada (recurso à modelação);
- conceber os modelos para o ensino a aplicar na sala de aula;
- elaborar documentos de avaliação escrita para a avaliação das aprendizagens.

O programa foi organizado em doze aulas, cada uma com uma duração de 50 minutos, de acordo com o horário semanal da disciplina de ciências naturais. O PI dividiu-se em dois momentos, ambos com 300 minutos (6 aulas). O primeiro momento correspondeu à formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias. O segundo momento, correspondeu à formação de falhas e dobras.

Realça-se que os modelos construídos e utilizados foram idealizados pelo professor Paulo Fonseca que os divulga e utiliza no Labgexp.

IV.2 O ensino da geologia baseado em modelos

Auxiliar os alunos de 7º ano de escolaridade a desenvolverem os raciocínios científico, interpretativo, histórico e por analogia, através de um ensino da geologia baseado em modelos foi a principal finalidade desta investigação.

São vários estudos, de carácter educacional, que valorizam o papel dos modelos científicos, dos modelos para o ensino e dos modelos mentais (Johson-Laird, 1983; Vasconcelos & Gomes, 2014; Vasconcelos & Torres, 2015). Os modelos para o ensino apesar de por vezes serem cientificamente inconsistentes ajudam o sujeito a resolver

os problemas que vão surgindo no dia-a-dia pois levam-no a ajustar os seus modelos mentais. Como tal, o ensino baseado em modelos nomeadamente com o recurso à modelação como estratégia de ensino, auxilia os alunos a compreender o desenvolvimento do conhecimento em ciência (processos científicos) e a consolidarem os seus próprios conhecimentos (Vasconcelos & Torres, 2015). O recurso a modelos, tal como menciona Fonseca e colaboradores (2001), ajuda os alunos a visualizar e a compreender conceitos abstratos, que são abordados nas ciências e, em particular, na geologia. É também atualmente considerado primordial que os alunos tenham um papel ativo e construam os seus modelos com o objetivo de compreenderem *como* e *porque* são usados os modelos, assim como as suas potencialidades e limitações (Torres & Vasconcelos, 2013).

Ao contrário do espectável, a maioria dos manuais de ciências apresentam trabalhos práticos (TP) associados a uma abordagem tradicional de ensino, como se de um “livro de receitas” se tratasse, o que é distante do desejado. Os modelos referenciados são poucos.

O recurso à modelação no ensino da geologia permite clarificar (Vasconcelos & Gomes, 2014): i) o conteúdo conceptual; ii) a manipulação experimental de variáveis; iii) o desenvolvimento do raciocínio por analogia e iv) a reconstrução de modelos mentais dos alunos, ao permitir a observação de uma realidade simulada. Dado tratar-se do ensino da geologia, pretendeu-se potenciar não só o raciocínio científico, como o raciocínio por analogia e o raciocínio histórico e interpretativo.

Num estudo realizado por Fonseca e colaboradores (2001) é mencionado que a utilização de modelos em sala de aula deve ser complementada com saídas de campo antes e após a mesma. Os modelos devem ser precedidos de observação das estruturas, em ambiente natural, isto é, no campo. E após a modelação e da compreensão dos seus aspetos, uma nova ida ao campo permite valorizar o significado das estruturas estando os alunos mais capazes de responder a questões que inicialmente tinham dificuldade.

Ressalva-se o facto de que o uso de modelos na sala de aula não tem intenção de recolher evidências empíricas, mas sim permitir um ensino heurístico, um ensino que ajuda a aprender. Porém, são muitos os professores, como é referido por Vasconcelos e Torres (2015) que não compreendem a relevância da modelação e, como tal, não recorrem a ela para melhorar os processos científicos e as capacidades investigativas dos seus alunos.

IV.3 O V heurístico de Gowin

O chamado V heurístico, epistemológico ou simplesmente V de Gowin (Fig. IV.1), em homenagem a quem o criou, começou a ser usado pela primeira vez em 1977, na Universidade Cornell e permite que os alunos reconheçam a complexidade, e ao mesmo tempo a simplicidade, dos processos e construção do conhecimento científico. Segundo Novak e Gowin (1999) a forma em V deve-se ao facto de o V apontar para o procedimento, o que pressupõe que o conhecimento é construído. O V de Gowin é, portanto, uma ferramenta de análise da edificação do processo de construção do conhecimento (Leboeuf & Batista, 2013).

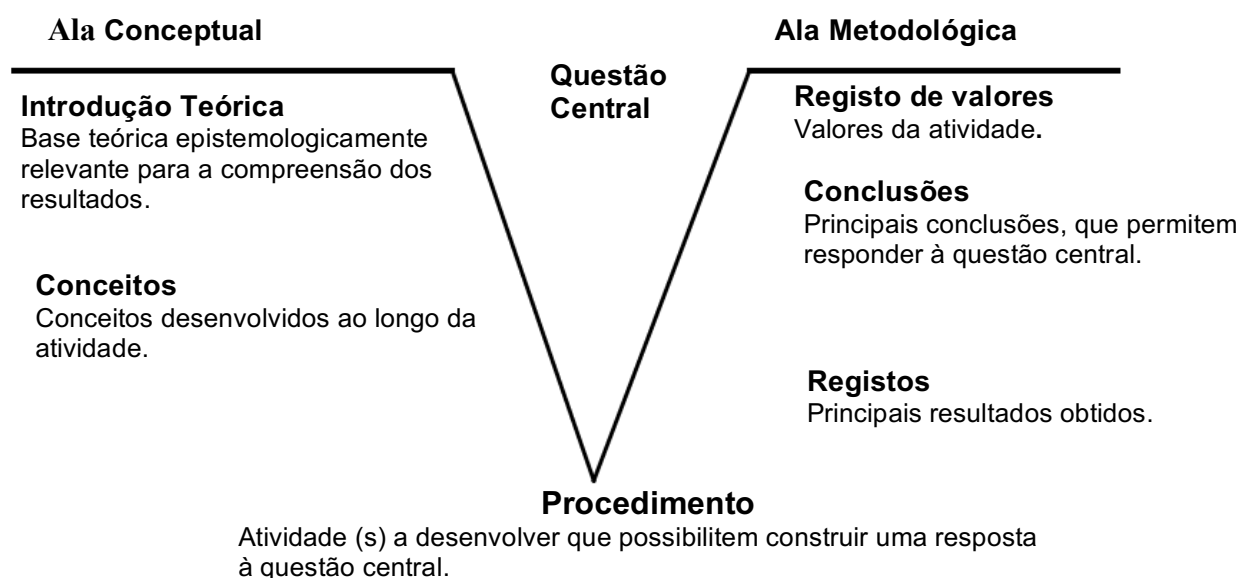


Fig. IV.1. V epistemológico de Gowin utilizado na concretização das atividades propostas neste trabalho.

O preenchimento do V de Gowin deve resultar da reflexão que cada aluno faz do acontecimento estudado, tal como a construção do conhecimento. O preenchimento deste diagrama decorre em várias fases, ordenadas da esquerda para a direita, traduzindo a relação entre o conhecimento teórico e a construção do próprio conhecimento do aluno. No entanto, são várias as vezes em que o aluno tem de recorrer

à ala conceitual para compreender a metodologia e vice-versa. No início da atividade os alunos são confrontados com uma questão central - ponto de partida. A ala esquerda do V corresponde ao conhecimento conceptual, isto é, onde se encontram as teorias/princípios e os conceitos que o aluno deve possuir antes de iniciar a atividade. A ala direita representa a metodologia, na qual o aluno produz os registos e tira as conclusões, desenvolvendo e compreendendo os processos investigativos. No vértice do V detalha-se o procedimento e os materiais usados no trabalho prático, fazendo a ligação entre o conceptual e o metodológico. Assim, tal como refere Praia (2000) o lado esquerdo do V corresponde ao pensar e o lado direito ao fazer, pretendendo-se sempre uma relação entre os dois lados.

A adoção deste recurso educativo foi pensado para ajudar os alunos na delimitação do problema a investigar, na clarificação dos objetivos e das hipóteses de trabalho. Permitiu, ainda, a integração epistemológica entre a parte teórica, demarcada pelos conceitos, princípios e teorias relevantes, e a parte metodológica, que engloba as atividades a desenvolver, assim como, a análise e interpretação de dados (Cachapuz et al., 2002). A construção do V epistemológico de Gowin, para além de implicar uma possível reestruturação de conhecimentos e crenças, obriga, de forma intencional, o aluno a problematizar, a refletir, a desenvolver novas atitudes (Cachapuz et al., 2002), o que alavancará os objetivos propostos para a fundamentação do desenvolvimento das atividades sugeridas neste trabalho. Assim, através do uso do V de Gowin o aluno compreende como a aprendizagem se processou, que o conhecimento depende dos conceitos, teorias e metodologias com as quais interpretamos o mundo (Gowin & Alvarez, 2005). Permite, ainda, os alunos compreendam o significado do TP.

O V de Gowin, tal como referem Gowin & Alvarez (2005), é um instrumento que permite ao professor, após o TP, poder averiguar se ocorreu uma aprendizagem efetiva, se os alunos estabeleceram uma relação entre as conceções teóricas e os resultados para explicar a questão central. No desenvolvimento do preenchimento do V de Gowin os raciocínios científico, por analogia, histórico e interpretativo foram potenciados.

IV.4 Construção do modelo da formação de montanhas: o caso dos Himalaias

A construção do modelo (Apêndice IV) sobre a simulação da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias foi aplicado na temática *Compreender os fundamentos da estrutura*.

O modelo construído (Fig. IV.2) consistia numa caixa em U, com um lado em acrílico, no interior da qual foi fixada uma placa de fenólico⁴⁶, com o mesmo comprimento da caixa de acrílico, que representa o manto. Por cima desta, foram colocadas duas placas de fenólico de diferentes dimensões. A placa maior, fixa, representa a placa Euroasiática. Esta placa foi fixada devido aos referenciais para os pólos eulerianos⁴⁷. A placa de dimensões mais pequena corresponde à placa Indiana a qual se encontra móvel para permitir a simulação da convergência de placas e consequentemente a formação da cadeia montanhosa (Himalaias).



Fig. IV.2. Modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

A figura seguinte (Fig. IV.3) representa o esquema do modelo utilizado no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias com as respetivas medidas.

⁴⁶ A escolha de fenólico prendeu-se com o facto de ser um material bastante resistente à água e ter pouco atrito.

⁴⁷ Pólos eulerianos são os polos de rotação sobre uma esfera. Segundo o Teorema de Euler, qualquer movimento na superfície de uma esfera pode descrever-se por meio de uma rotação de um eixo passando pelo centro da esfera. Assim, as linhas de fluxo do movimento das placas são ao longo de latitudes com respeito ao pólo de rotação relativo.

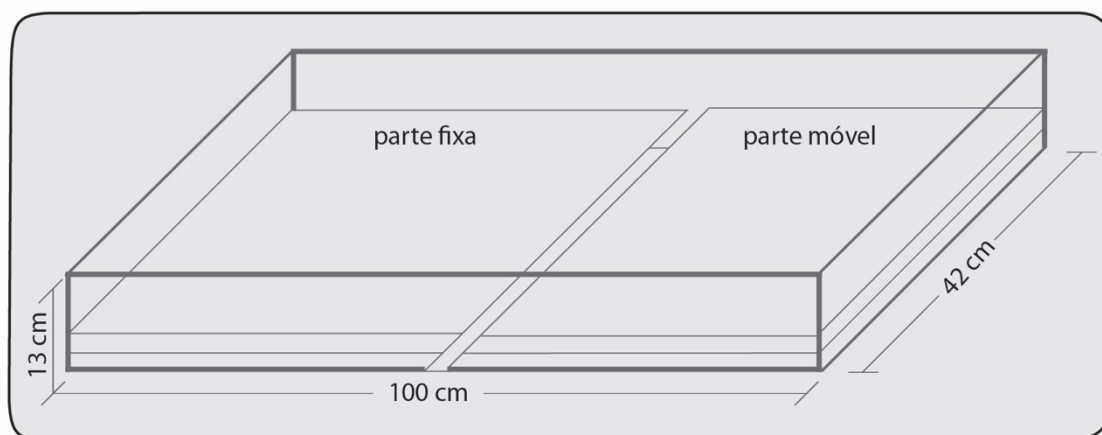


Fig. IV.3. Esquema representativo do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Com cerca de 5 cm de distância entre as placas, colocou-se uma camada de plasticina, com aproximadamente 0,5 cm de espessura recorrendo ao rolo de cozinha para obter uma espessura constante (Fig. IV.4).

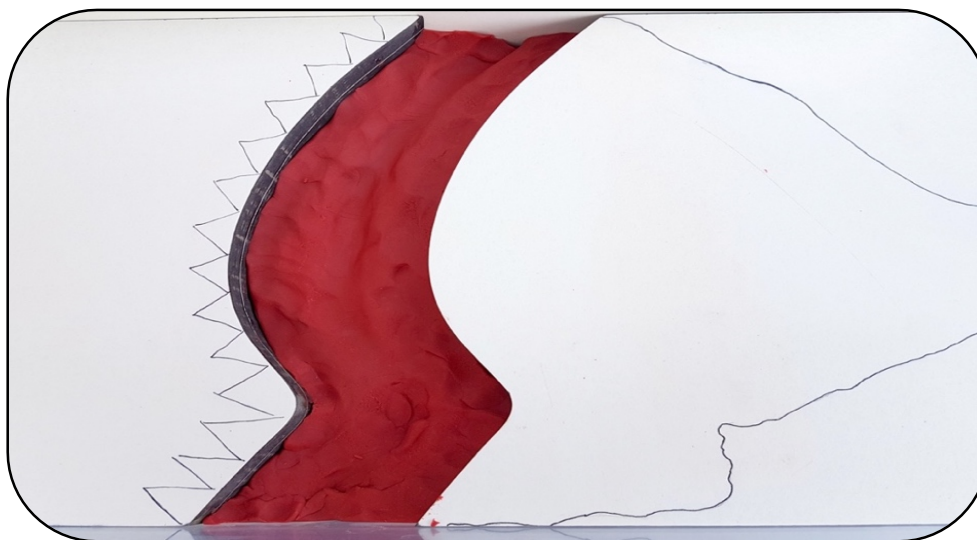


Fig. IV.4. Imagem da montagem inicial da atividade do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

De seguida, colocou-se um acetato, que representa a descontinuidade de Mohorovicic, simbolizando fisicamente a transição dos serpentinitos⁴⁸ para os

⁴⁸ Rocha metamórfica que resulta dos peridotitos.

peridotitos (Fig. IV.5). As folhas de acetato têm sido utilizadas nos modelos análogos para a investigação para simular a existência de descolamentos em profundidade em modelos compressivos (Malavieille & Trullenque, 2009).

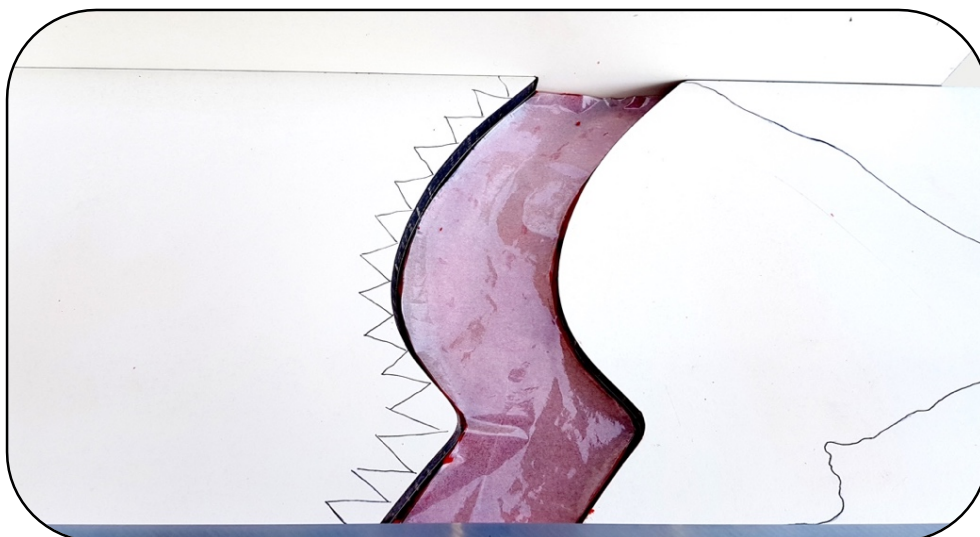


Fig. IV.5. Imagem da montagem da atividade do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Posteriormente, colocaram-se mais duas camadas de plasticina (sendo a última de cor azul) que simulam as camadas rochosas da litosfera (Fig. IV.6).

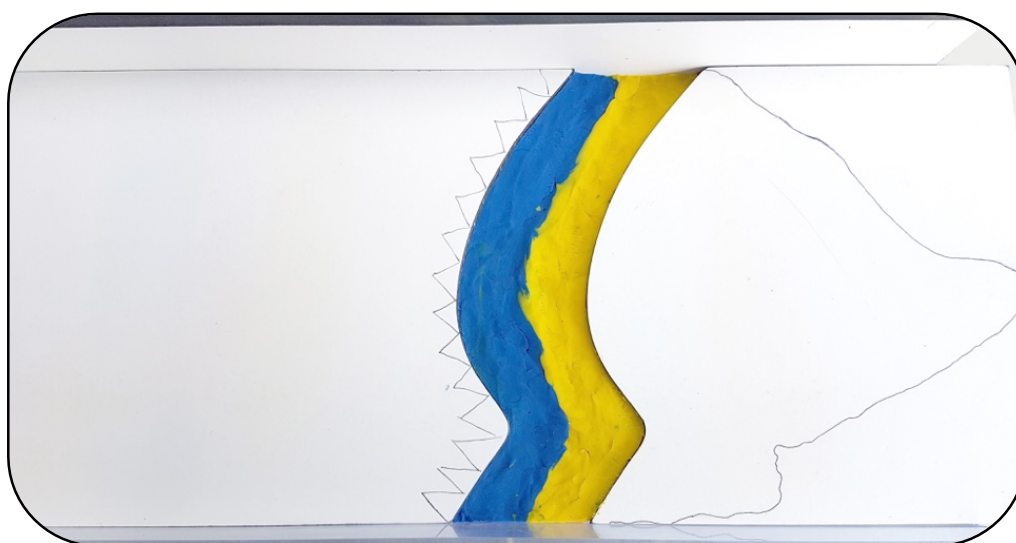


Fig. IV.6. Imagem da montagem da atividade do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Por cima, foi colocada uma camada de areia fina, que deverá ter alguns milímetros de espessura. No final, foi disposto pó de junta, que atuou como marcador cinemático e cuja espessura não deverá transpor os 0,1 cm. O pó poderá ser colocado apenas junto ao acrílico, onde se irá observar a experiência (Fig. IV.7).

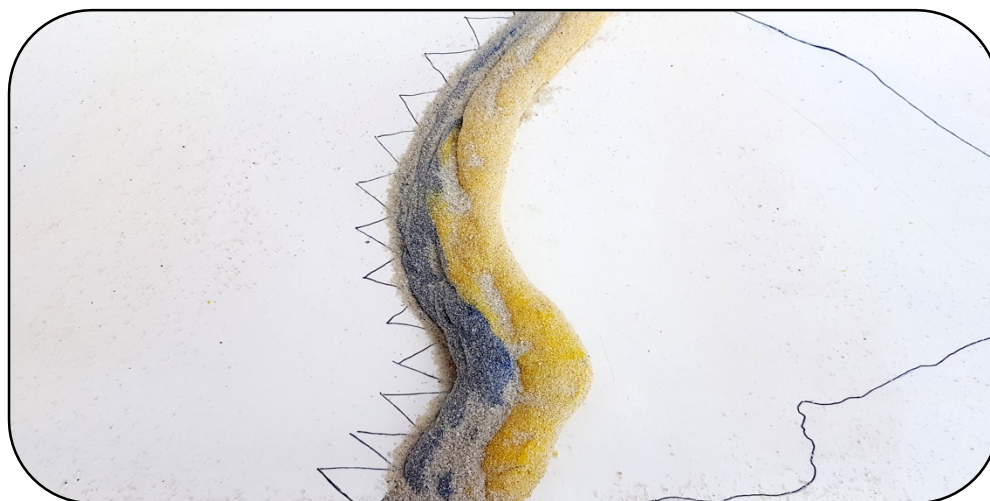


Fig. IV.7. Imagem final da atividade do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

As areias e o pó reproduzem os sedimentos marinhos. Com o intuito de os leitos das areias e do pó terem uma espessura constante, utilizamos um crivo na deposição dos sedimentos.

IV.5 Construção do modelo da formação de falhas e dobras

A construção do modelo (Apêndice XIV) sobre a simulação da formação de dobras e falhas foi aplicado na temática *Dobras e Cavalgamentos*. Os materiais utilizados na construção dos modelos desta investigação foram os mesmos que comumente se utiliza para fins científicos. Assim, foram selecionadas areias homogêneas, bem calibradas e de grãos com elevado grau de arredondamento para simular as unidades litológicas. Coloriram-se as areias com corante alimentar de três cores diferentes.

O modelo construído (Fig. IV.8) consistia numa caixa em acrílico em forma de U, com uma banda de elástico unida a duas placas de madeira em forma de L.

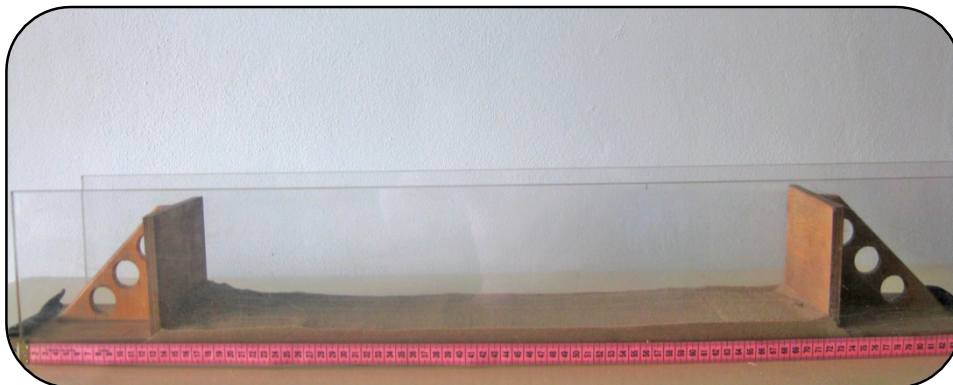


Fig. IV.8. Modelo utilizado para a simulação de formação de dobras e falhas.

A Figura seguinte (Fig. IV.9) ilustra o modelo utilizado e representado na Fig. IV.8.

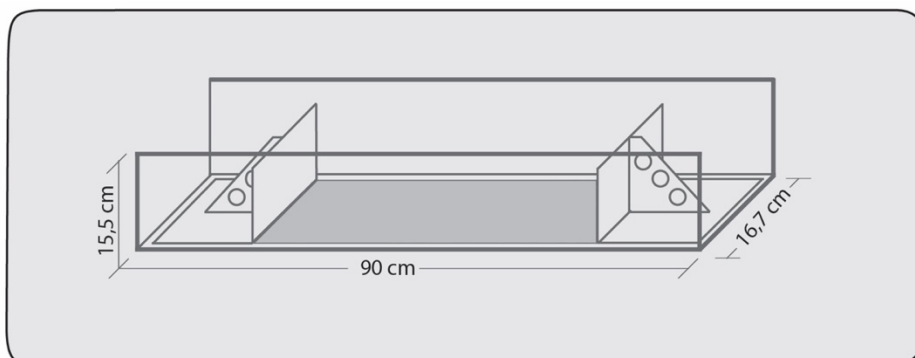


Fig. IV.9. Esquema representativo do modelo utilizado para a simulação de formação de dobras e falhas.

Começou-se por prender as placas em L, com uns grampos, às paredes de acrílico de forma a evitar movimentos laterais. De seguida, colocaram-se camadas de areia coloridas sobrepostas com cerca de 1 cm de espessura, cada, intercaladas com pó de junta (Fig. IV.10).

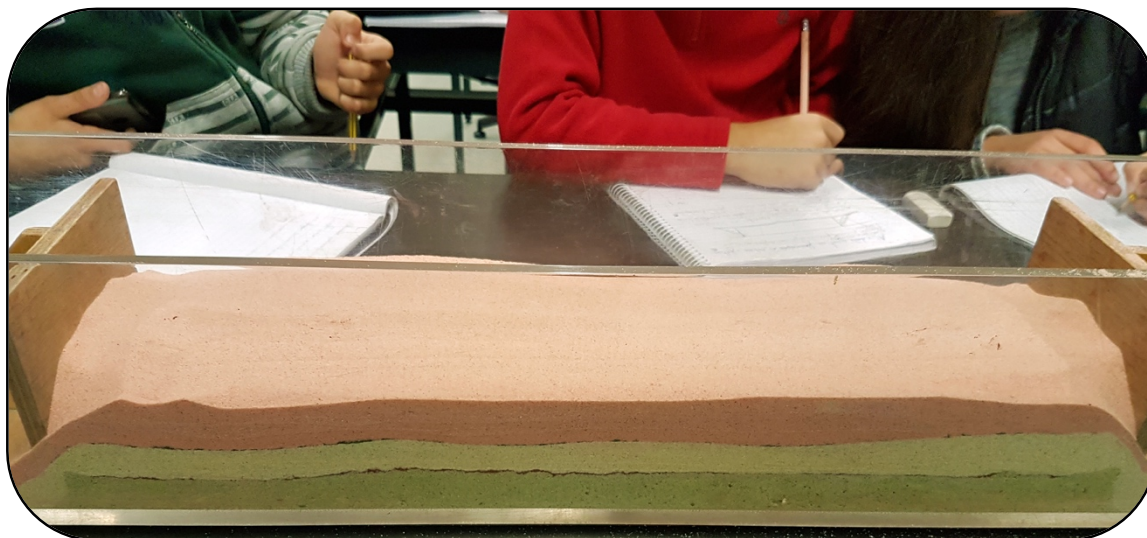


Fig. IV.10. Montagem do modelo para a simulação de dobras e falhas.

As camadas de areia e de pó de junta não devem ter irregularidades, devem estar o mais horizontal possível, pelo que devem ser alisadas.

IV.6 Programa de Intervenção

Quando se iniciou o PI (Programa de Intervenção) já haviam sido lecionados conteúdos relativos à deriva dos continentes, o que lhes permitiu interrelacionar conceitos. Este estudo, como já anteriormente referido, teve por base uma perspetiva de ensino orientado para a investigação (*Inquiry-based learning*) em que a estratégia utilizada foi a modelação.

O conteúdo da tectónica de placas é lecionado pela primeira vez ao nível do 3º ciclo no 7º ano de escolaridade na temática *Compreender os fundamentos da estrutura e da dinâmica da Terra*. Este tema foi selecionado por ser bastante enriquecedor, aglutinador e possuir um forte potencial para o desenvolvimento do raciocínio por analogia, científico, histórico e interpretativo. Abarca conteúdos como placas tectónicas, expansão dos fundos oceânicos e deformações da litosfera obrigando a um nível de abstração por parte do aluno bastante elevado para compreender quer os movimentos da litosfera quer a sua deformação. Este nível de abstração para a faixa etária correspondente, 11-13 anos, é complexo porque “aos olhos dos alunos” não há

evidência da dinâmica interna da Terra, criando assim um obstáculo necessário ultrapassar. Outro obstáculo evidenciado aquando da lecionação destes conteúdos é a grandeza da escala espaço-temporal, na medida em que os alunos, têm dificuldades em compreenderem o que significa milhões de anos. Para os alunos desta faixa etária o final do século passado, década de 80/90, que corresponde à altura do nascimento de grande parte dos seus pais, já foi há muito tempo.

Com o intuito de ultrapassar estes obstáculos epistemológicos e desenvolver o Raciocínio recorreremos ao uso de modelos físicos dinâmicos e não análogos. É relevante realçar, ao longo de toda a atividade, que é essencial o aluno saber distinguir uma simulação da realidade.

O outro tema abordado *Dobras e Cavalgamentos* foi lecionado nas aulas seguintes. Apesar das estruturas geológicas não serem novas para os alunos, pois nas aulas antecedentes foram sendo introduzidas, o que provoca a sua génese é desconhecido. Além disso, os alunos não observam no seu dia-a-dia tais estruturas o que pode condicionar a sensibilidade para o conhecimento. Assim, o modelo serviu para clarificar os conceitos, compreender a génese das montanhas e relacionar a deformação das rochas com a formação de cadeias montanhosas.

O PI foi executado pela professora-investigadora e por um professor-colaborador, com 17 anos de experiência, que mostrou manifesto interesse em colaborar na investigação, sobretudo pela possibilidade de conhecer e aprender a aplicar a metodologia. Este último sempre gostou de aplicar metodologias centradas no aluno, estimulando a ação e o pró-ativismo de cada aluno no processo ensino-aprendizagem. O professor-colaborador ajudou a construir os modelos, sabia quais eram os objetivos do trabalho e tinha todas as referências necessárias para uma correta intervenção. Para saber participar na investigação, o professor-colaborador, teve formação prévia à implementação dos recursos em sala de aula assim como sessões de esclarecimento durante a intervenção. Para a execução do PI a professora-investigadora planificou as atividades, desenvolveu uma dinâmica de aprendizagem em grupo e foi mediadora, na medida em que atuou como facilitadora da aprendizagem. Reuniu-se, ainda, várias vezes, com o professor-colaborador de forma a que este estivesse completamente ciente do que se pretendia e como deveria efetuar a intervenção.

A amostra da investigação efetuada abrangeu 104 alunos do 7º ano de escolaridade, de duas escolas públicas do norte de Portugal. A população-alvo da

investigação foi dividida em duas amostras. A amostra da professora-investigadora tinha dois grupos experimentais (grupo 1, com 17 alunos, e grupo 2, com 21 alunos) e um grupo de controlo (grupo 3, com 21 alunos). A amostra do professor-colaborador possuía um grupo de controlo (grupo1, com 24 alunos) e um grupo experimental (grupo 2, com 21 alunos). Os alunos tinham idades compreendidas entre os 11 e os 16 anos, sendo 55 do sexo masculino e 49 do sexo feminino. Eram alunos que não manifestavam interesse nem empenho na realização das tarefas propostas, a maioria com comportamentos díspares do estipulado a nível de regulamento interno como aceitável. Através de dados retirados de uma entrevista focal realizada aos grupos em estudo, sabemos que os alunos tinham interesses divergentes da escola e não possuíam suporte familiar que estimulasse o sucesso escolar (Apêndice XXIII e XXIV).

No início do PI os alunos foram distribuídos em grupos de 4 ou 5 elementos, selecionados pela professora-investigadora ou pelo professor-colaborador, tendo por critérios o aproveitamento e comportamento. Foram formados grupos heterogéneos, o que pensamos auxiliar competências colaborativas.

Após a seleção dos conteúdos a serem alvo do PI procedeu-se à planificação das atividades letivas, tendo em conta o número de aulas a utilizar para o desenvolvimento de cada temática e os descritores que se pretendiam abordar. Nos quadros 4.1 e 4.2 encontra-se descrita a planificação do PI. O PI foi dividido em duas partes, na primeira foi abordada a formação de montanhas: o caso dos Himalaias e na segunda as dobras e falhas.

Quadro 4.1. Planificação do PI: simulação da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Temática	Descritores	Descrição	Duração (50 minutos)
tectónica de placas	- explicar as evidências clássicas (oceânicas e continentais) que fundamentam a Teoria da Tectónica de Placas	Realização do pré-teste	1
		Sistematização da temática da deriva continental	1
	- relacionar a expansão e a destruição contínuas dos fundos oceânicos com a constância do volume da Terra	Utilização do modelo da formação dos Himalaias	1
		Pós-aula: Preenchimento do V de Gowin	1
	- caracterizar placa tectónica e os diferentes tipos de limites existentes	Análise e discussão dos Vês de Gowin	1
	- identificar os contributos de alguns cientistas associados à teoria da deriva continental e à teoria da tectónica de placas	Reflexão da metodologia utilizada	1
		Realização do pós-teste	1

O TP foi dividido em dois momentos: i) aula, no qual os alunos realizaram uma atividade prática utilizando o modelo construído e registaram os resultados e ii) pós-aula, em que os alunos, em grupo, discutiram os resultados registados trocando diferentes pontos de vista e elaboraram o V de Gowin; realizaram uma autorreflexão das aulas relativas à utilização dos modelos e preencheram novamente o teste (ao que designamos de pós-teste). É de salientar que os alunos do grupo de intervenção nunca tinham elaborado um V de Gowin pelo que houve a necessidade de explicar em que consistia e como se preenchia.

O V de Gowin foi construído com base nos registos e reflexões dos elementos do grupo assim como, com apoio e orientação por parte da professora-investigadora ou do

professor-colaborador tendo por base o V de Gowin (V de Gowin de referência) elaborado pela professora-investigadora (Fig. IV.15 e Fig. IV.22, nas pp. 168 e 177 respetivamente). No final da aula, cada grupo entregou o seu V de Gowin à professora.

Quadro 4.2. Planificação do PI: simulação da formação de dobras e falhas.

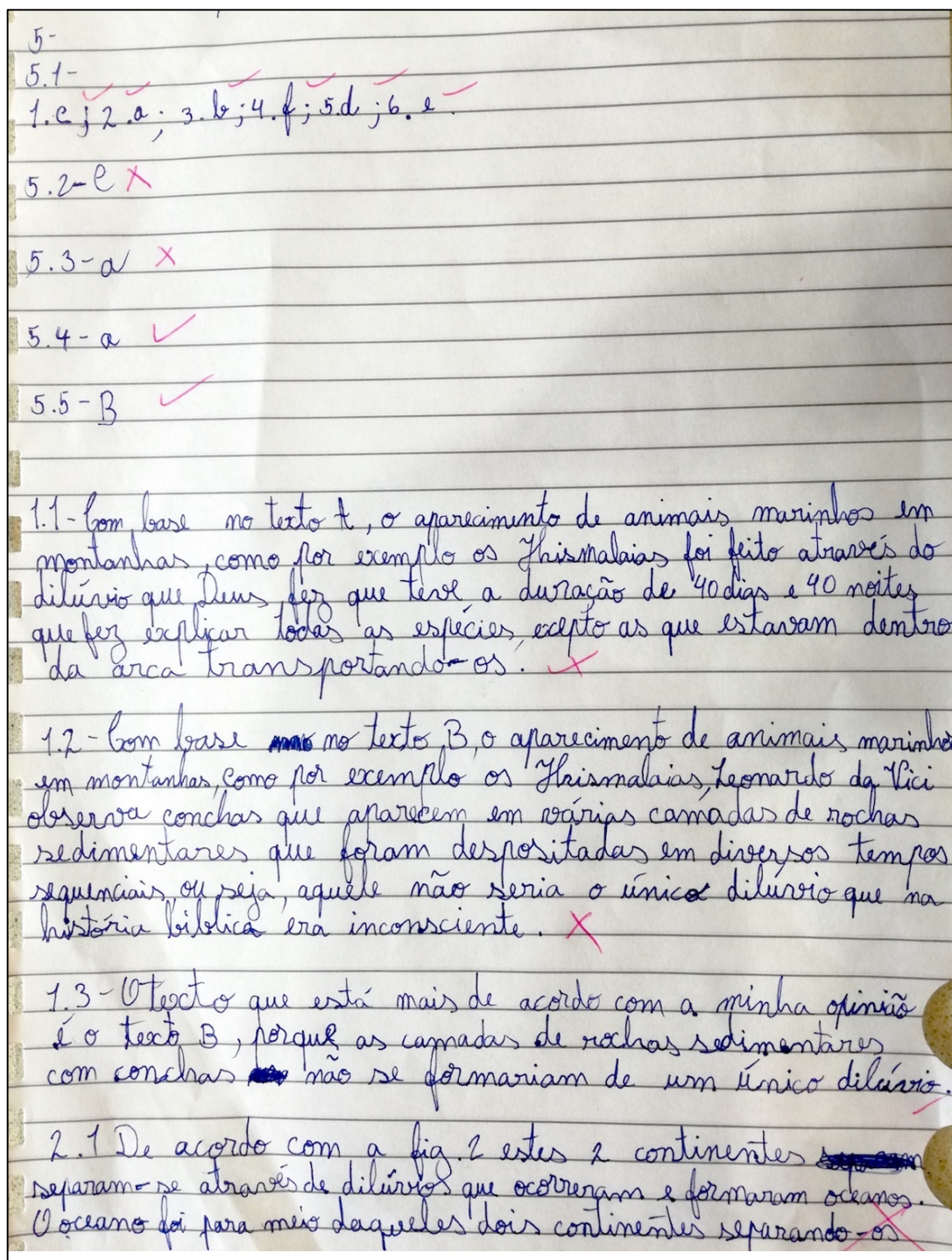
Temática	Descritores	Descrição	Duração (50 minutos)
		Realização do pré-teste	1
Dobras e Cavalgamentos	- distinguir comportamento frágil de comportamento dúctil	<i>Brainstorming</i> sobre os diferentes tipos de comportamentos (dúctil, frágil e elástico)	1
	- explicar a formação de dobras e falhas	Utilização do modelo da formação de dobras e cavalgamentos	1
	- relacionar a movimentação observada numa falha com o tipo de forças aplicadas que lhe deram origem	Pós-aula: Preenchimento do V de Gowin	1
	- relacionar a deformação das rochas com a formação de cadeias montanhosas	Análise e discussão dos Vês de Gowin Reflexão da metodologia utilizada	1
		Realização do pós-teste	1

A segunda parte do PI, relativa à formação de falhas e dobras decorreu nos mesmos moldes que o da formação de montanhas: o caso dos Himalaias. Com dois momentos, a aula em que foi utilizado o modelo e o pós-aula, tal como descrito nos dois parágrafos anteriores.

PI- formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Na aula 1 da primeira parte do PI, sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias os alunos, individualmente, realizaram o pré-teste referente à temática, o qual foi previamente sujeito a validação e determinação da fidelidade.

As figuras seguintes (Fig.IV.11 e Fig. IV.12) exibem algumas partes de dois pré-testes realizados por dois alunos dos grupos experimentais 1, sendo um da amostra da professora-investigadora e outro da amostra do professor-colaborador.



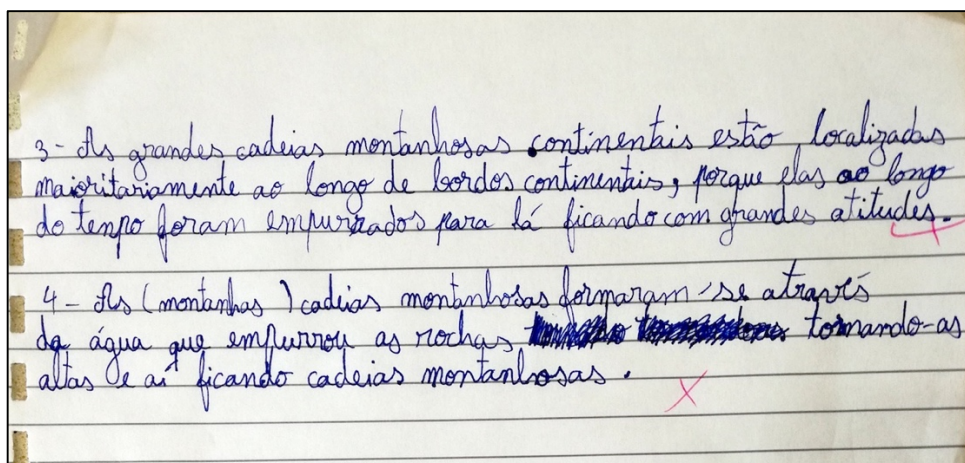


Fig. IV.11. Pré-teste sobre a formação de montanhas: o caso dos Himalaias realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora.

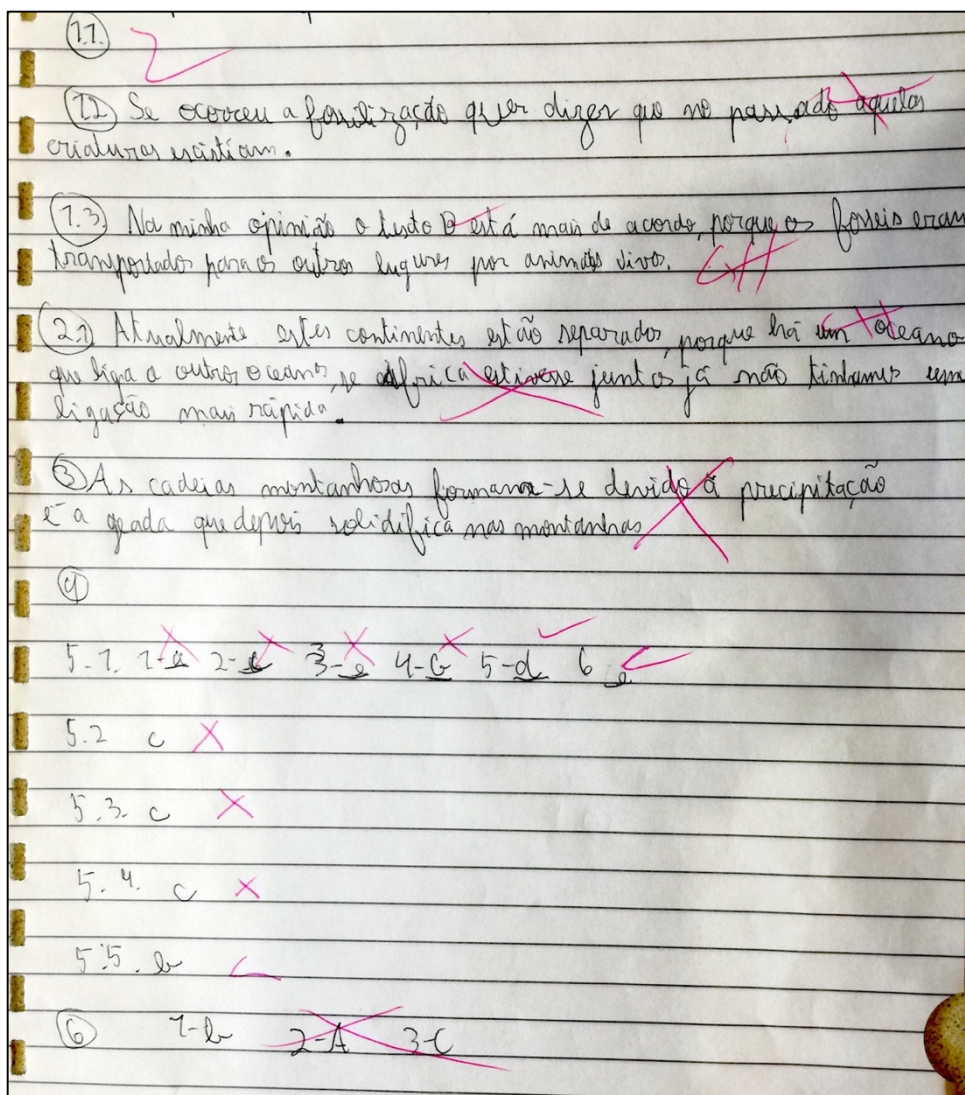


Fig. IV.12. Pré-teste sobre a formação de montanhas: o caso dos Himalaias realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra do professor-colaborador.

Na segunda aula, quer a professora-investigadora quer o professor-colaborador começaram por realizar um *brainstorming*, promovendo uma ação ativa dos alunos, sobre os conteúdos lecionados até ao momento. Assim, foram abordados conteúdos como os argumentos a favor da deriva dos continentes, a expansão dos fundos oceânicos, as correntes de convecção, a morfologia dos fundos oceânicos e a teoria da tectónica de placas.

Servindo-se do auxílio do quadro branco e em resultado do diálogo profícuo com o grupo turma, houve a organização de um mapa de conceitos (Fig.IV.13⁴⁹). Os mapas de conceitos, diagramas bidimensionais, foram criados por Joseph Novak, na década de 70, e alicerçados na teoria cognitiva de aprendizagem de Ausubel et al. (1978), aprendizagem significativa. A realização de mapas conceituais permite ao aluno relacionar e esquematizar os conteúdos aprendidos, de forma clara, concisa e visual (Sales, Coelho & Sales, 2012). Os mapas de conceitos enfatizam, relacionam e hierarquizam os conceitos, podendo ser usados como auxiliares de organização curricular (Laboeuf & Batista, 2013). No final da aula e tendo sempre por base a dinâmica implementada na sala foi levantada uma questão problemática: como se formam as cadeias montanhosas como as dos Himalaias?

É na terceira aula, que o modelo, concebido e previamente testado, sobre a formação das cadeias montanhosas - o caso dos Himalaias, foi experienciado pelos alunos. Os alunos montaram o aparato seguindo as indicações fornecidas pela professora-investigadora (ou pelo professor-colaborador). Assim, primeiro colocaram uma camada de plasticina, seguida de uma folha de acetato. Posteriormente sobrepuseram camada de plasticina, pó de junta e areia e registaram o que observaram. Nesta aula, terceira, houve a abordagem de conteúdos como tectónica de placas e limites de placas. Assim, os alunos relacionaram o movimento convergente das placas tectónicas com a formação de cadeias montanhosas. Verificaram, ainda, que nestas zonas há destruição de crosta terrestre e que devido ao choque da placa oceânica com a continental é possível encontrar fósseis marinhos nas montanhas.

⁴⁹ Como a foto do mapa de conceitos realizado pelos alunos não é muito perceptível, encontra-se no Apêndice V o mesmo mapa de conceitos realizado a computador.

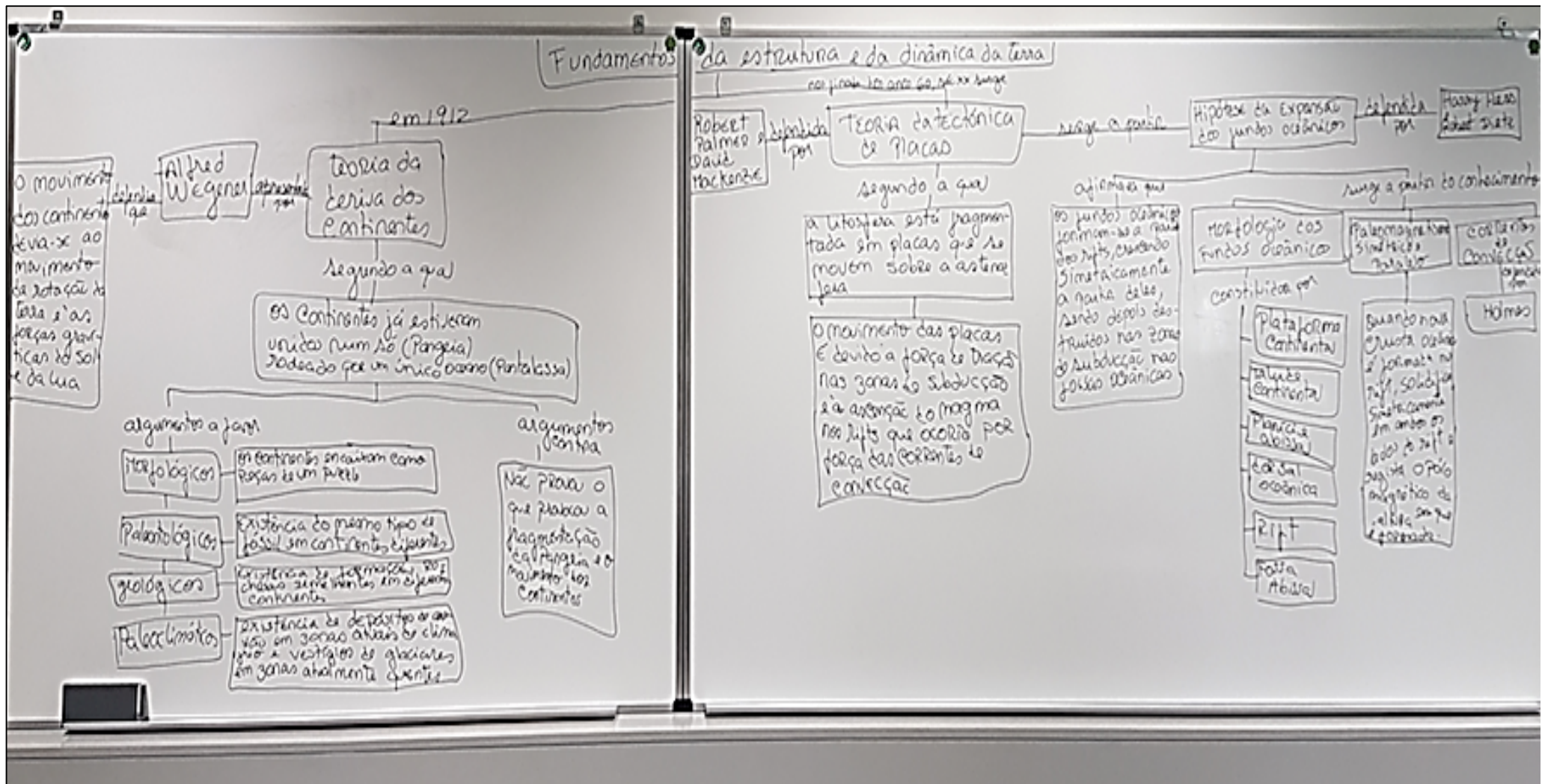


Fig. IV.13. Mapa de conceitos elaborado pelo grupo 1 experimental da amostra da professora-investigadora.

A figura seguinte (Fig. IV.14) ilustra o modelo utilizado por um grupo de alunos da amostra da professora-investigadora.

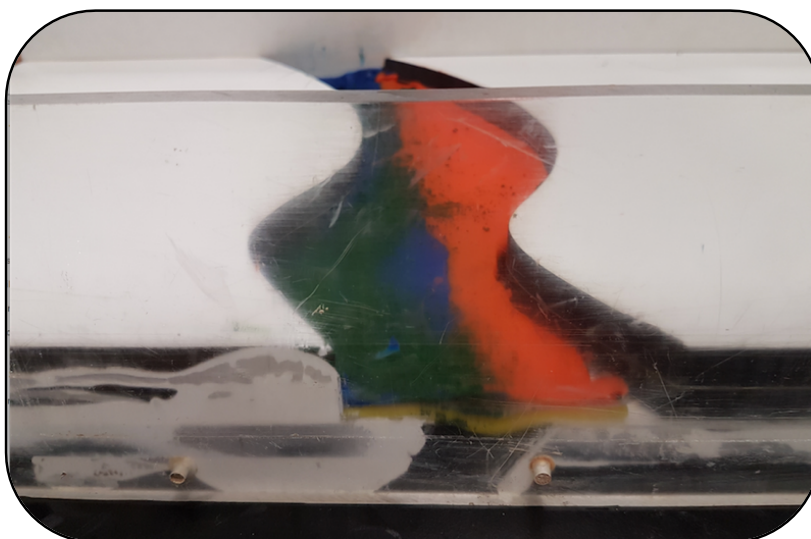


Fig. IV.14. Montagem do aparato experimental utilizado em PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, por um grupo de alunos.

No pós-aula de modelação, aula 4, os alunos realizam um relatório da atividade experimental que consistiu no preenchimento, individual, do V de Gowin previamente fornecido e numa reflexão sobre a aula transata. Como os alunos não estavam familiarizados com o preenchimento do V de Gowin a professora-investigadora e o professor-colaborador forneceram um V semipreenchido, explicaram os passos para o seu preenchimento bem como a sua finalidade.

Ambos os professores tinham na sua posse um V de Gowin de referência (Fig.IV.15), construído por ambos antes do início do PI.

Na quinta aula foi realizado, em grande grupo e em diálogo orientado pela professora-investigadora e pelo professor-colaborador, uma análise dos diferentes Vês de Gowin e uma reflexão sobre as aulas transatas.

Na última aula do PI os alunos preencheram o pós-teste. O pós-teste correspondeu ao pré-teste, isto é, à mesma ficha de trabalho que os alunos realizaram antes da intervenção com o modelo as figuras seguintes (Fig. IV.16 e Fig. IV.17) referem-se a dois pós-testes realizados por alunos do grupo experimental 1 da professora-investigadora e do professor-colaborador, respetivamente.

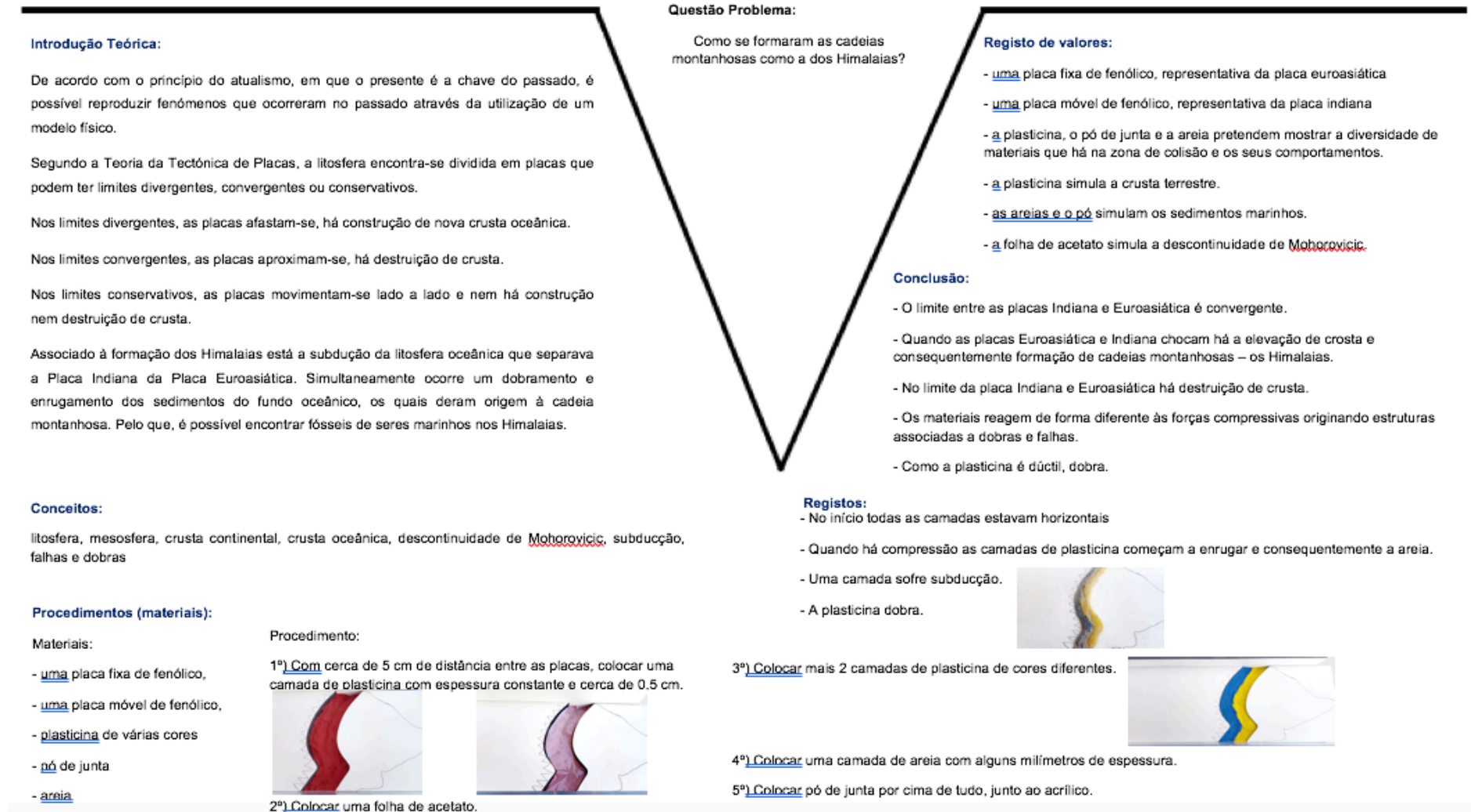


Fig. IV.15. V de Gowin de referência, na temática compreender os fundamentos da estrutura e da dinâmica da Terra.

1-

1.1- Com base no texto A o aparecimento de fósseis marinhos em montanhas, como por exemplo, nos Himalaias foi que Deus mandou um dilúvio à terra que durou cerca de 40 dias e 40 noites. De modo a que os fósseis marinhos tivessem sido transportados da sua base para o seu topo.

1.2- Com base no texto B o aparecimento de fósseis marinhos em montanhas, como por exemplo nos Himalaias foi que Leonardo Da Vinci apresentava cinco argumentos que ~~provaram~~ o oposto do texto bíblico pois seria ~~não~~ necessário mais que um dilúvio para os fósseis marinhos serem arrastados para o seu topo.

1.3- O texto que está mais de acordo com a minha opinião é o texto B porque não era possível que apenas com um dilúvio os fósseis marinhos fossem transportados para o topo dos Himalaias.

2-

2.1- Com base na fig. 2 o continente Africano e o continente Americano estão atualmente separados pela teoria da deriva dos continentes que afirma que é através do magma que é libertado dos riftes e solidifica.

3- A maioria das cadeias montanhosas localizam-se nos bordos dos continentes devido à convergência de placas litosféricas.

4- Os Himalaias e Andes formaram-se devido à colisão de 2 placas litosféricas ~~convergentes~~ (limite convergente). No caso dos Himalaias foram as placas Euro-asiática e Indiana que colidiram.

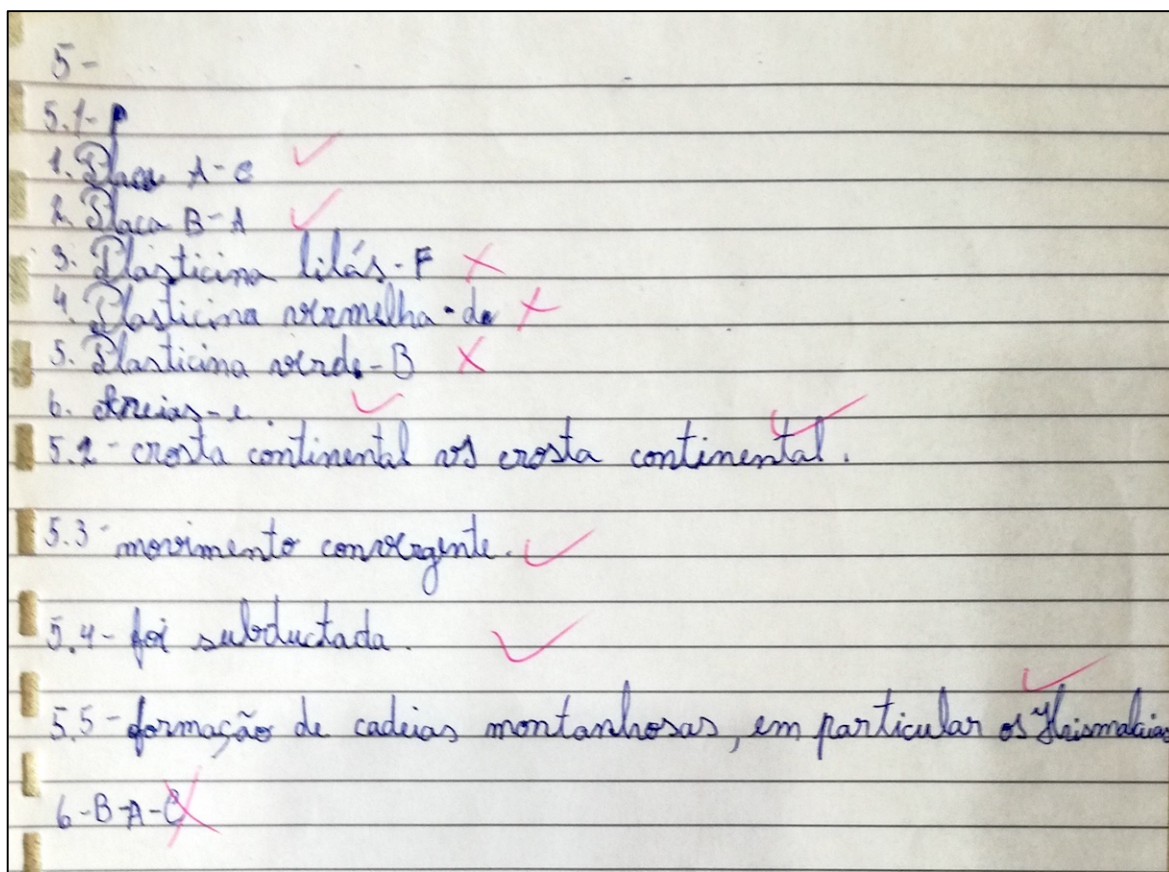
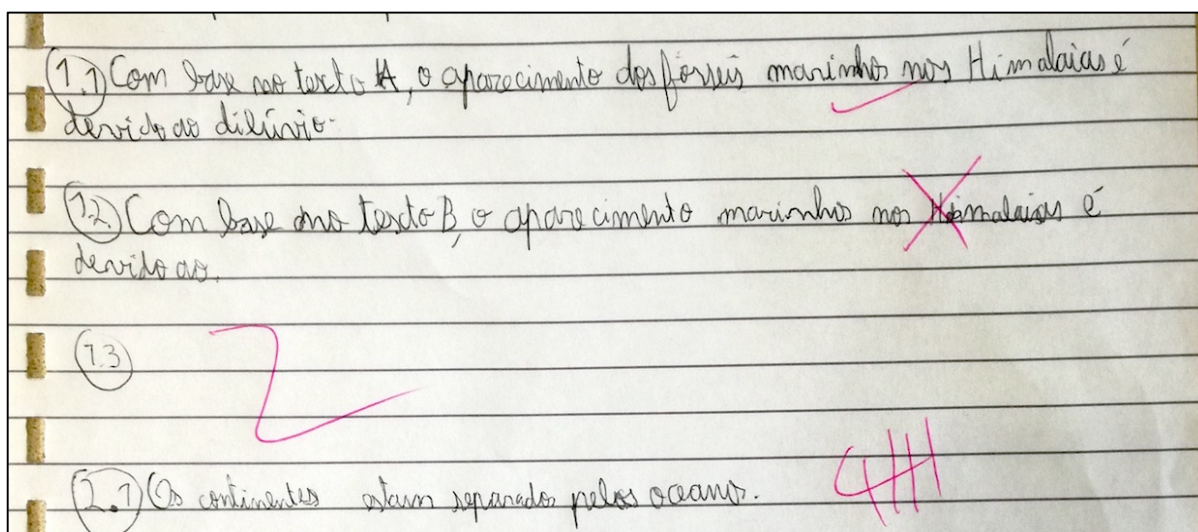


Fig. IV.16. Pós-teste sobre a formação de montanhas: o caso dos Himalaia realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora.



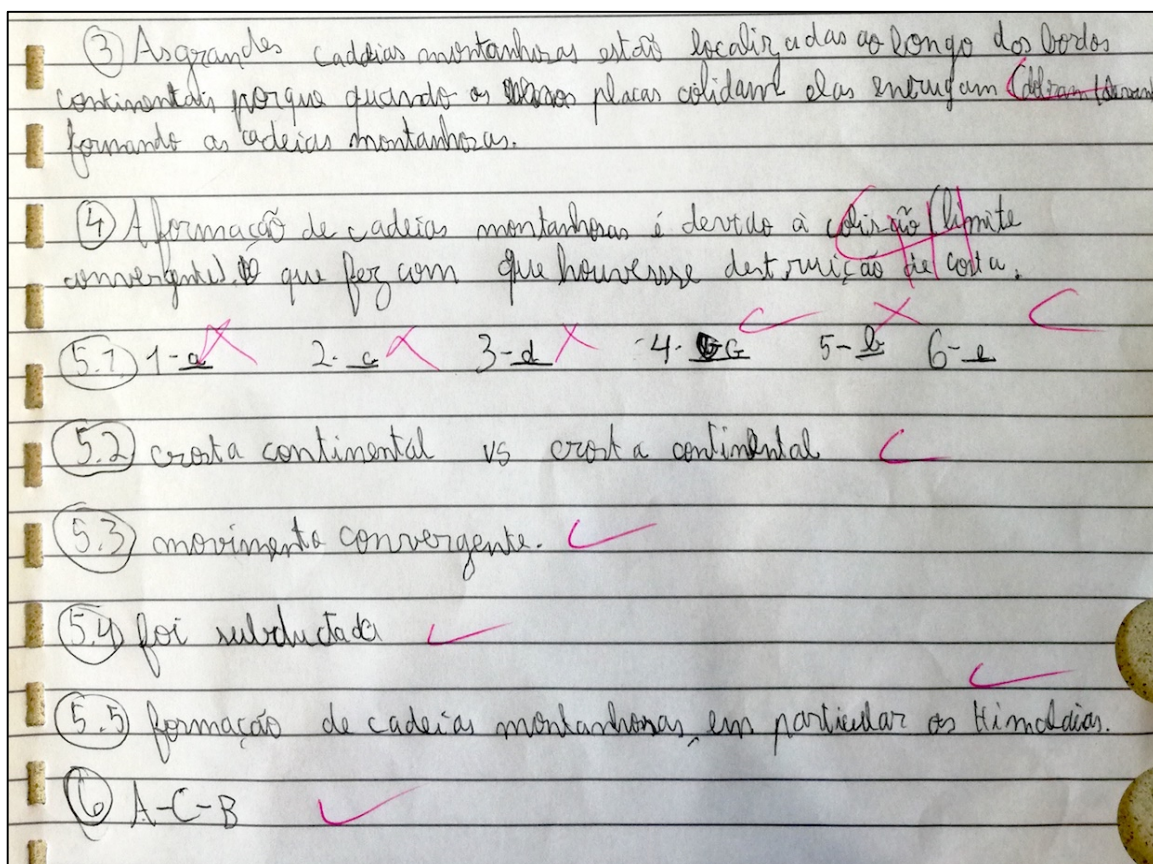


Fig. IV.17. Pós-teste sobre a formação de montanhas: o caso dos Himalaias realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra do professor-colaborador.

PI-formação de falhas e dobras.

Na primeira aula da segunda parte do PI, sobre a formação de falhas e dobras, os alunos realizaram o pré-teste referente à temática em estudo, previamente sujeito a validação e fidelidade. Nas figuras seguintes (Fig. IV.18 e IV.19) encontra-se um exemplar de um pré-teste realizado por alunos dos grupos experimentais da amostra da professora-investigadora e do professor-colaborador.

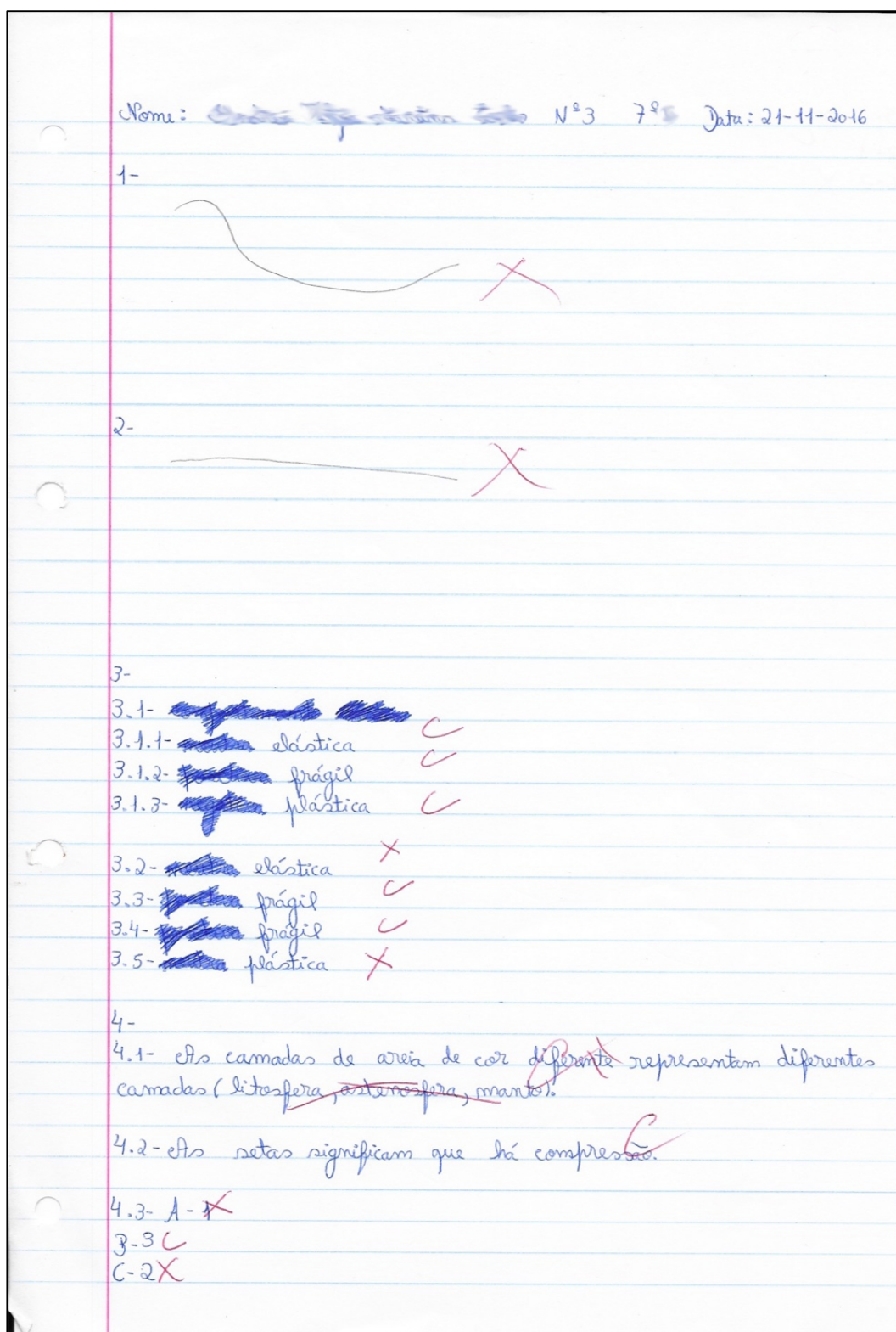


Fig. IV.18. Pré-teste sobre a formação falhas e dobras realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora.

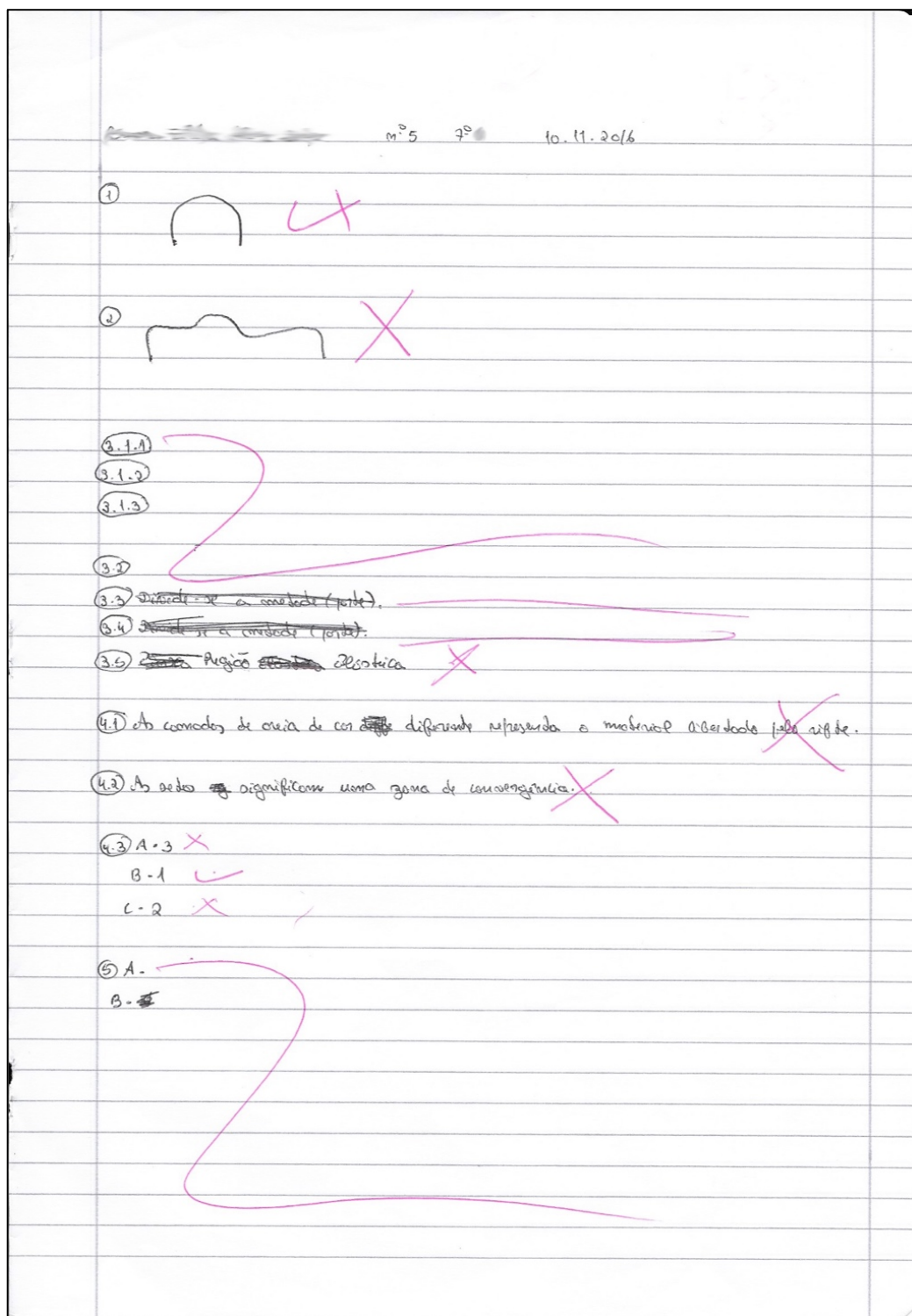


Fig. IV.19. Pré-teste sobre a formação falhas e dobras realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra do professor-colaborador.

Na aula seguinte, aula dois, os alunos recorrendo a diversos materiais que tinham à sua disposição e numa perspetiva de ensino orientado para a investigação, estudaram os diferentes comportamentos dos materiais: dúctil, frágil e elástico. Para tal, utilizaram um pau de giz, uma bola saltitona, uma régua e plasticina.

Na terceira aula, os alunos utilizaram o modelo sobre a formação de dobras e falhas. À semelhança do PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, os alunos montaram o aparato, com as indicações fornecidas pela professora e registaram o que observaram.

A figura seguinte (Fig. IV.20-a, b e c) ilustra o modelo após a atividade dos alunos, sendo possível observar a formação de dobras e falhas.



Fig. IV.20-a.

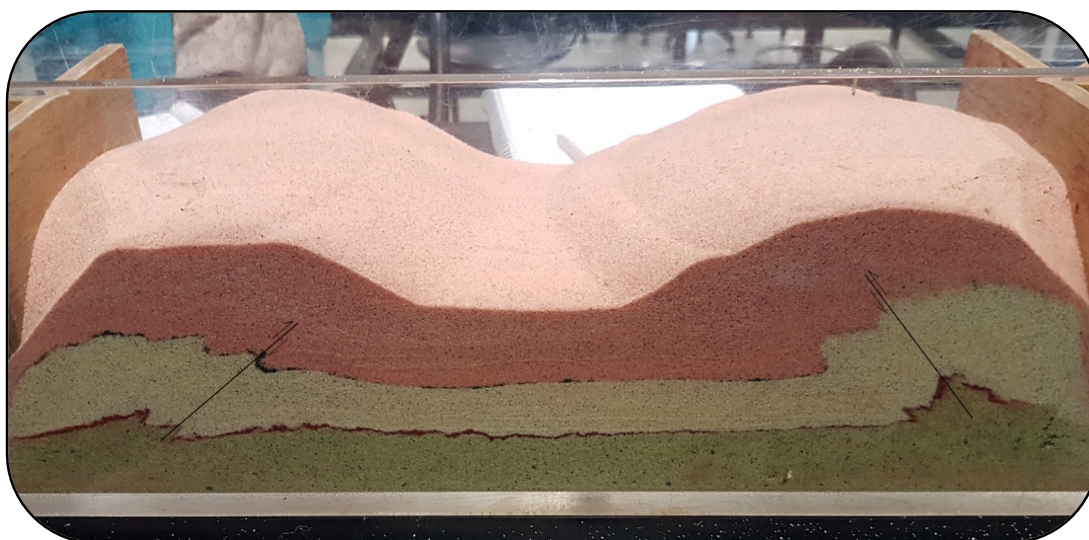


Fig. IV.20-b.

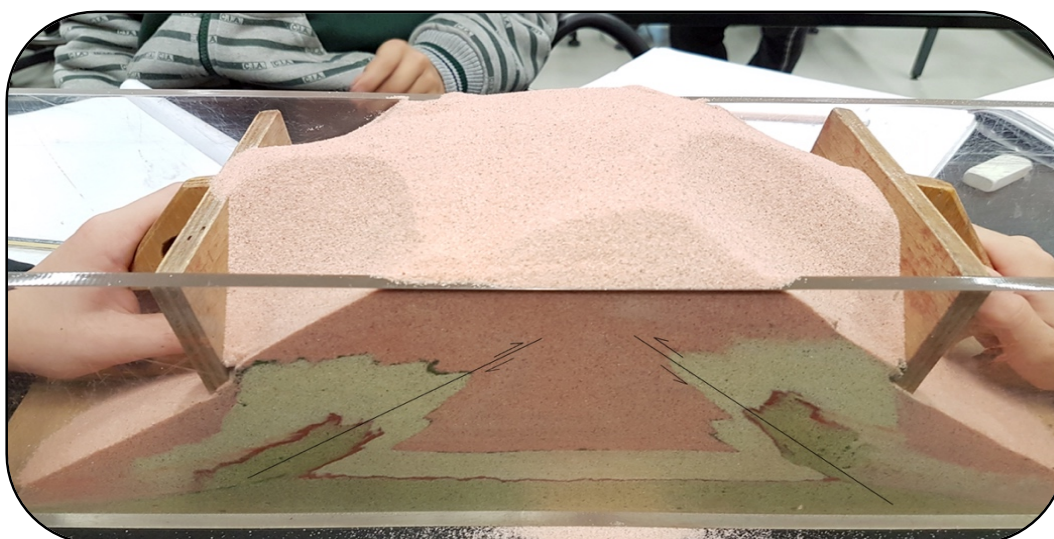


Fig. IV.20-a, b e c. Ilustração do aparato experimental utilizado no PI sobre a formação de falhas e dobras.

No pós-aula da modelação, aula 4, os alunos realizaram um relatório da atividade experimental que consistiu no preenchimento do V de Gowin previamente fornecido (Fig. IV.21). Ambos os professores tinham na sua posse um V de Gowin de referência (Fig. IV.22).

Na quinta aula foi realizado, em grande grupo e em diálogo orientado pela professora, uma análise de todos os Vês de Gowin e uma reflexão sobre as aulas transatas, relativas à segunda parte do PI.

Introdução Teórica:

- A Geologia Estrutural estuda a deformação da litosfera
- O nosso planeta é formado basicamente por três zonas: litosfera, astenosfera e manto
- A deformação não se faz de forma espontânea, dependendo do movimento das placas litosféricas por de uma enorme força, e, por isso, sobrecarregando as rochas ou deformando qualquer material existente.
- Comportamento dos materiais pode ser dúctil, frágil ou elástico

As Dobras são formações que resultam da ação de forças compressivas em material elástico com comportamento dúctil.
As falhas são deformações que resultam da ação de forças de tensão ou de forças compressivas sobre rochas com comportamento frágil.

Conceitos: Deformação da litosfera, rochas, manto, núcleo, dúctil, frágil, elástico, dobrar e falhar.

Questão Problema:
Como se formaram falhas e dobras?

Registo de valores:

- o pó de junta representa a manta e a astenosfera
- a areia de cores diferentes pretende simular as várias camadas da litosfera
- a madeira simula as placas litosféricas

Conclusão:

- Os materiais reagem de forma diferente às forças compressivas originando estruturas associadas a falhas e dobras
- a areia e o pó de junta são materiais frágeis
- a formação de dobras e falhas está relacionado com o tipo de força aplicada

Registos:

- No início as 3 camadas da caixa de cor diferente estavam na horizontal
- Quando há compressão formam-se dobras e falhas no interior
- A areia fratura e dobra de acordo com as forças compressivas

Procedimentos (materiais):

Materiais: areias de várias cores; pó de junta e caixa em U em acrílico.

Procedimento:

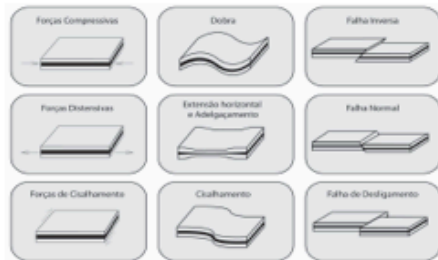
1º) Colocar as areias de cor diferente, intercaladas com o pó de junta, em camadas com a mesma espessura e na horizontal.

2º) Fazer compressão lateral com a mesma intensidade.

Fig. IV.21. Exemplo de um V de Gowin realizado por um aluno para descrever a atividade experimental realizada durante o PI da formação de falhas e dobras.

Introdução Teórica:

- A Geologia Estrutural estuda os processos de deformação da crosta terrestre.
- O nosso planeta é formado basicamente por três zonas: crosta, manto e núcleo. A crosta e o manto superior formam a litosfera que é rígida. Segue-se a astenosfera que engloba o restante manto e tem propriedades plásticas.
- De acordo com o princípio do atualismo, em que o presente é a chave do passado, é possível reproduzir fenómenos que ocorreram no passado através da utilização de um modelo físico.
- A deformação (processo que altera a forma) das rochas depende do tipo de material, da sua textura e estrutura e do tipo e intensidade de força atuante.
- Consoante a natureza dos materiais estes têm um comportamento elástico, frágil ou dúctil.
- Dobras são estruturas tectónicas que consistem num encurvamento.
- As falhas são superfícies de rutura com relativo movimento entre os blocos que separa.



Conceitos:

Falhas (normais, inversas e oblíqua), dobras, unidades litológicas, crosta, manto, núcleo, placas litosféricas, forças compressivas e distensivas

Procedimentos (materiais):

Materiais: areias de várias cores.; pó de junta e caixa em U em acrílico.

Procedimento:

1º) Colocar as areias de cor diferente, intercaladas com o pó de junta, em camadas com a mesma espessura e na horizontal.



Questão Problema:

Como se formam falhas e dobras?

Registo de valores:

- o pó de junta representa um marcador cinemático.
- a areia de cores diferentes pretende simular as diferentes unidades litológicas que constituem a litosfera.
- a madeira simula as placas tectónicas.

Conclusão:

- Os materiais reagem de forma diferente às forças compressivas originando estruturas associadas a dobras e falhas.
- a areia e o pó de junta são materiais frágeis pelo que fraturam, têm uma deformação mínima.
- a formação de dobras e falhas está relacionado com o tipo de material e a força aplicada.
- nos limites de placas há intensas tensões e como tal, deformações.

Registos:

- No início todas as camadas estavam horizontais.



- Quando há compressão as camadas de areia começam a fraturar junto às paredes do modelo e no centro começam a dobrar.

- A areia dobra e fratura de acordo com a intensidade das forças compressiva



2º) Fazer compressão lateral com a mesma intensidade.

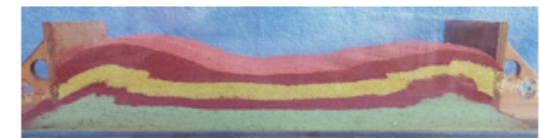
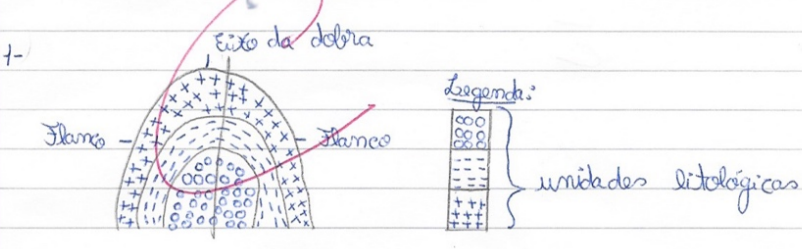
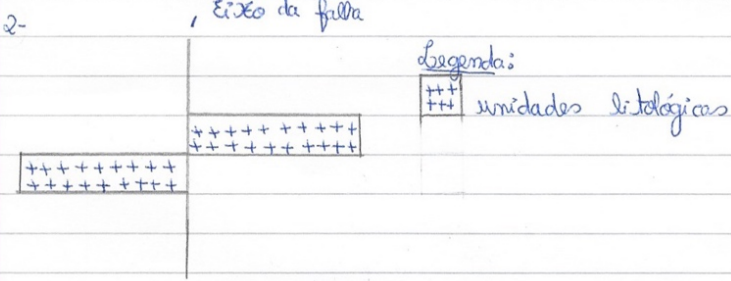


Fig. IV.22. V de Gowin de referência, na temática dobras e cavalgamentos

A última aula do PI correspondeu ao preenchimento do pós-teste. Nas Fig. IV.23 e IV.24 encontram-se dois pós-testes realizados por alunos dos grupos experimentais 1 (um grupo da amostra da professora-investigadora e outro da amostra do professor-colaborador).

Nome: _____ Nº 3 7º Data: 15-12-2016

1- 


2- 

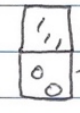
3-
3.1-
3.1.1- comportamento elástico C
3.1.2- comportamento frágil C
3.1.3- comportamento plástico C
3.2- comportamento plástico C
3.3- comportamento frágil C
3.4- comportamento frágil C
3.5- comportamento elástico C

4-
4.1- as camadas de areia de cor diferente representam as diferentes unidades litológicas. C
4.2- As setas significam compressão. C
4.3- A-2 X
B-3 C
C-1 C

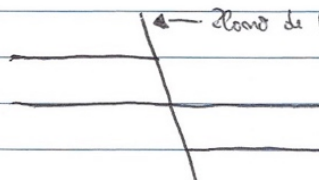
Fig. IV.23. Pós-teste sobre a formação falhas e dobras realizado por um aluno do grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora.

n.º 5 7.º

①  Eixo da dobra
Flancos

 Unidades tectónicas

Uma dobra tem sempre: - 1 eixo da dobra
- 2 flancos

②  Plano de falha
Falha normal

Uma falha tem sempre: - 1 plano de falha.

3.1.1 Comportamento elástico ✓
3.1.2 Comportamento frágil ✓
3.1.3 Comportamento frágil ou dúctil ✓
3.2 Comportamento frágil ou dúctil ✓
3.3 Comportamento frágil ✓
3.4 Comportamento frágil ✓
3.5 Comportamento elástico, ✓

4.1 Os Comedos de mica de cor diferente representam as unidades tectónicas.

4.2 ~~o significado das setas~~ as setas significam que há compressão dos materiais.

Fig. IV.24. Pós-teste sobre a formação falhas e dobras realizado por um aluno do grupo experimental da amostra do professor-colaborador.

CAPÍTULO V: Metodologia de investigação

V.1 Introdução

No presente capítulo descreve-se e fundamenta-se a metodologia de investigação, a seleção e caracterização da amostra e a determinação da validade e fidelidade dos testes (pré e pós-testes).

V.2 Combinação de métodos

Vários são os instrumentos a que podemos recorrer na recolha de dados. Assim as metodologias de investigação apoiam-se em instrumentos como, por exemplo, questionários, entrevistas, grelhas de observação e testes. Independentemente da escolha, a qual deve ter em conta o objetivo do estudo, todos os instrumentos devem pautar-se por permitirem que *“os resultados da investigação sejam válidos, os dados em que estes se basearam terão de ser fiáveis”* (Coutinho, 2011, p. 109).

Neste estudo procedeu-se a uma combinação de métodos, a qual pode ser definida como o uso de dois métodos de recolha de dados (Cohen; Marion & Morrison, 2007), ou seja, a *“combinação de dois ou mais pontos de vista, fontes de dados, abordagens teóricas ou métodos de recolha de dados numa mesma pesquisa por forma a que possamos obter como resultado final um retrato mais fidedigno da realidade ou uma compreensão mais complexa de fenómenos a analisar”* (Coutinho, 2011, p.208).

Inicialmente recorreu-se a uma metodologia quasi-experimental, pois apesar de introduzir condicionantes de tipo experimental, o *como* e *quando* medir, (Coutinho, 2011) a amostra não foi aleatória. É de realçar que apesar de não ser uma amostra aleatória existiu cuidado na escolha de grupos semelhantes em termos de sucesso escolar e com alunos do mesmo ano letivo. Cuidou-se, também, que as variáveis externas ao estudo fossem o mais semelhante possíveis, de forma a não interferirem nos resultados da intervenção. A amostra foi de conveniência e selecionou alunos de duas escolas públicas do norte do país.

Para a recolha de dados foi utilizado um pré e pós-teste com 2 grupos de controlo (um na amostra da professora-investigadora e outro na amostra do professor-colaborador) e 3 grupos experimentais (dois na amostra da professora-investigadora e um na amostra do professor-colaborador). Pelo exposto, o estudo contemplou grupos experimentais e de controlo que realizaram o pré e o pós-teste. A variável independente (aprendizagem baseada em modelos físicos para o ensino) foi introduzida com o programa de intervenção no grupo experimental, tendo-se avaliado o seu impacto na variável dependente (sucesso no teste cognitivo, apresentado antes e após o PI).

A realização de um V de Gowin foi solicitada apenas nos grupos experimentais e na fase pós intervenção. Estes últimos foram cotados segundo uma escala de valores definida pelo grupo disciplinar, da escola participante, com um valor máximo de 100%.

No final de cada PI foi aplicado aos alunos um questionário (Apêndice XXI) que visava avaliar a opinião deles relativa à metodologia utilizada. As questões, que constituíam o questionário, eram simples e envolviam apenas a seleção de uma opinião (V-verdadeiro e F-falso). O questionário teve como principal objetivo perceber se os alunos tinham compreendido a utilização dos modelos, bem como os diferentes raciocínios que os geólogos utilizam na sua investigação.

Foi, ainda, realizada uma entrevista focal nos grupos experimentais com o objetivo de aferir o que condicionou os diferentes resultados na primeira e segunda parte do PI.

Com o intuito de avaliar se os instrumentos poderiam ser usados na recolha de dados procedeu-se à validação dos mesmos, a qual diz respeito à sua apropriação em medir o objeto de estudo. A fiabilidade, isto é, a capacidade de fornecer resultados semelhantes sob condições constantes em qualquer altura (Bell, 1997, p.87), foi também averiguada.

V.3 Amostra

Como referenciado anteriormente, a população-alvo da investigação efetuada abrangeu 104 alunos do 7º ano de escolaridade, de duas escolas públicas do norte de Portugal, tendo sido dividida em duas amostras. A amostra da professora-investigadora (n_1) tinha dois grupos experimentais, grupo 1 ($n_{1a}=17$) e grupo 2 ($n_{1b}=21$), e um grupo de controlo, grupo 3 ($n_{1c}=21$). A amostra do professor-colaborador (n_2) possuía um

grupo de controlo, grupo1 ($n_{1a}=24$), e um grupo experimental, grupo 2 ($n_{1b}=21$).

Com base nos dados do dossier da direção de turma, analisou-se o perfil dos alunos da amostra. A amostra do estudo da professora-investigadora englobou um universo de 59 alunos, 25 do sexo masculino e 34 do sexo feminino, com uma média de idades de 12,2 anos. Do total de alunos, 5 (8,47%) frequentavam o 7º ano pela segunda vez. A amostra da professora-investigadora era maioritariamente feminina, 57,63% ($n=34$) dos alunos eram raparigas. O quadro 5.1 apresenta a caracterização da amostra da professora-investigadora.

Quadro 5.1. Caracterização da amostra da professora-investigadora ($n_1=59$).

	Feminino ($n=34$)	Masculino ($n=25$)
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	11	6
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	11	10
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	12	9

A amostra do estudo do professor-investigador englobou um total de 45 alunos, 30 do sexo masculino e 15 do sexo feminino, com uma média de idades de 12,4 anos. Era maioritariamente masculina, 66,67% ($n= 30$) dos alunos eram rapazes. Do universo total de alunos 8,9% ($n=4$) frequentavam o 7º ano pela segunda vez.

O quadro 5.2 apresenta uma informação detalhada da caracterização da amostra n_2 .

Quadro 5.2. Caracterização da amostra do professor-colaborador ($n_2=45$).

	Feminino ($n=15$)	Masculino ($n=30$)
Grupo 1 ($n_{2a}=24$)	7	17
Grupo 2 ($n_{2b}=21$)	8	13

Com base nos dados fornecidos pelos processos individuais dos alunos verificou-se, em ambas as escolas, que eram alunos com notórias carências económicas, provenientes de famílias destruturadas e com baixos níveis de escolaridade.

V.4 Instrumentos de investigação

Os planos quase-experimentais têm inevitavelmente um pós-teste, isto é, uma medição dos grupos intervenientes, contudo, por vezes, também incluem um pré-teste, que é passado antes da intervenção experimental (Coutinho, 2011). O nosso estudo consistiu na realização de um pré e pós-teste, isto é, na utilização do mesmo instrumento de recolha de dados antes e após a intervenção experimental com recurso aos modelos.

Os instrumentos para a recolha de dados tiveram em conta: i) o objeto de estudo, ii) a quem se dirigiam; iii) o grau de fidelidade dos mesmos. Assim, para a abordagem quer da formação das montanhas (o caso dos Himalaias), quer da formação de falhas e dobras, foram elaborados um teste e um V de Gowin. Os testes (Apêndice II e Apêndice XII) foram aplicados nos grupos experimentais e nos grupos de controlo antes e após leção das práticas pedagógicas. Nos grupos de controlo foi utilizada uma metodologia tradicional, expositiva, centrada no professor, sem o recurso aos modelos para o ensino. Nos grupos experimentais foi utilizada uma metodologia de ensino baseada em modelos. Nos grupos experimentais foram ainda realizados os Vês de Gowin no final da exploração dos modelos, os quais foram classificados numa escala de 100 pontos (Apêndices X, XI, XIX e XX), de acordo com os critérios de avaliação definidos pelo grupo disciplinar da escola.

A análise dos resultados obtidos foi realizada através de procedimentos estatísticos não paramétricos (caso dos testes), e pela análise de conteúdo qualitativa complementada com estatística descritiva (caso dos Vês de Gowin).

V.4.1 Validade e fidelidade do teste

Sabendo que a construção das questões, dos testes, demarca uma fase crucial de um questionário e de forma a tornar o estudo válido e com fidelidade, procedeu-se à avaliação do pré e pós-teste (um para a primeira fase do PI e outro para a segunda fase do PI).

Começou-se por construir os testes e respetivas grelhas de verificação dos tipos de raciocínio que se pretende avaliar (Apêndices III e XIII). Nos quadros 5.3 e 5.4 encontram-se esquematizados os tipos de raciocínio que se avaliam em cada teste, após validação e determinada a sua fidelidade. Numa fase inicial do processo, aquando da formulação das questões foram tidos em conta os objetivos do estudo, a adequação do vocabulário à amostra e o tipo de imagens ilustrativas das questões. Esta fase teve a colaboração de dois professores universitários, um com perfil na vertente da geologia e outro com especialidade na educação em geologia.

Quadro 5.3. Tabela dos tipos de raciocínio avaliados em cada questão do teste sobre a temática formação das cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

	Questões
Raciocínio por analogia	Q5.1; Q5.3; Q5.4; Q5.5; Q6
Raciocínio científico	Q1.2; Q1.3; Q2.1; Q3; Q4; Q6
Raciocínio histórico e interpretativo	Q1.1; Q1.2; Q5.2; Q5.4; Q5.5; Q6;

Entende-se por Q = questão e o algarismo corresponde ao número da questão no teste.

O quadro seguinte refere-se aos tipos de raciocínio (por analogia, científico e interpretativo) que foram analisados em cada questão do teste relativo às falhas e dobras.

Quadro 5.4. Tabela dos tipos de raciocínio avaliados em cada questão do teste sobre falhas e dobras.

	Questões
Raciocínio por analogia	Q1; Q2; Q3.1.1; Q3.1.2; Q3.1.3; Q4.1; Q4.2; Q4.3
Raciocínio científico	Q1; Q2; Q3.2; Q3.3; Q3.4; Q3.5
Raciocínio interpretativo	Q3.1.1; Q3.1.2; Q3.1.3; Q3.2; Q3.3; Q3.4; Q3.5; Q4.2; Q4.3; Q5

Entende-se por Q = questão e o algarismo corresponde ao número da questão.

De seguida, os testes e respetivas grelhas foram avaliados por um painel composto por doze juízes: três investigadores especialista na área da educação em ciência, três mestres em ensino de biologia e geologia, três docentes de biologia e geologia e três alunos do sétimo ano de escolaridade.

As sugestões foram tidas em conta na elaboração dos documentos finais, as quais se prendiam com: i) simplificação de vocabulário, substituição de palavras por sinónimos mais facilmente entendidos pela amostra; ii) substituição de uma questão por outra mais adequada ao tipo de raciocínio que se pretendia avaliar e iii) inclusão de uma imagem com a localização dos Andes e dos Himalaias. Após a redação do teste final, com inclusão das diversas sugestões do painel de avaliadores, o teste foi revisto uma última vez pela investigadora e pelos dois professores universitários que auxiliaram na elaboração do teste na sua primeira fase. Assim, pretendeu-se garantir a validade e fidelidade do teste quer para o modelo da formação de cadeias montanhosas, quer para o modelo da formação de dobras e falhas. A validade do teste ficou assegurada pelos avaliadores, que garantiram que as questões mediam a temática em análise e avaliavam um determinado tipo de raciocínio científico. A fidelidade ficou comprovada pelos mesmos avaliadores, que responderam de forma idênticas às diferentes questões dos testes.

Depois de asseguradas a validade e fidelidade do teste, foi realizado um estudo piloto, onde o mesmo foi aplicado a uma amostra similar à em estudo. Por outras palavras, usamos 30 alunos que frequentavam o 7º ano de uma escola pública no norte do país e aplicamos o teste antes da lecionação das temáticas *Compreender os fundamentos da estrutura e da dinâmica da Terra* e *Dobras e Cavalgamentos*. Este estudo piloto foi realizado com o intuito de aferir se a linguagem do mesmo era adequada à faixa etária e se o vocabulário era entendível. Serviu, ainda, para analisar quanto à recetividade e inteligibilidade do mesmo, permitindo averiguar se os alunos conseguiam responder às questões e analisar as imagens. No final deste processo houve uns reajustes na linguagem e uma simplificação na formulação das questões. Após o estudo piloto, consideramos concluída a validação e a determinação da fidelidade dos mesmos.

V.4.2 Elaboração e validação dos Vês de Gowin

Sendo o V de Gowin considerado heurístico, na medida em que permite analisar a estrutura do processo de produção de conhecimento (Moreira, 2007), foi de todo relevante incluir no nosso estudo a realização dos mesmos por parte dos alunos. Para tal, os Vês de Gowin, que foram simultaneamente instrumentos de avaliação dos alunos e recolha de dados da investigação, foram concebidos em trabalho colaborativo entre a professora-investigadora e o professor-colaborador. Posteriormente foram validados por uma professora de didática com longos anos de serviço em investigação científica.

Foram elaborados os Vês de Gowin para o professor (Fig. IV.15 e Fig. IV.22) e para o aluno, a serem usados no PI.

V.4.3 Elaboração e validação dos questionários e questões da entrevista focal.

A escolha de questionário para recolha de dados prendeu-se essencialmente pelo facto de garantir o anonimato, medir atitudes, opiniões e comportamento, mas a quantidade de informação obtida é menor que numa entrevista focal. Pelo que, optamos, também, pela realização de entrevistas focais aos grupos experimentais.

A validade do questionário bem como das questões relativas à entrevista focal foi feita pelo grupo da escola, pelo professor-colaborador, com base na leitura de artigos da especialidade e por uma professora de didática com longos anos de serviço em investigação científica. As sugestões foram atendidas na elaboração do questionário final e nas questões da entrevista: i) linguagem simples e adequada à faixa etária; ii) manter um objetivo para a entrevista; iii) evitar questões longas e iv) permitir que as respostas direcionem para outros campos.

V.5. Professor-investigador

Vários são os desafios que se colocam à escola para a formação do cidadão do século XXI, nomeadamente a preservação do ambiente alicerçado num desenvolvimento sustentável e a educação para a liberdade, responsabilidade e respeito pelo outro (Santos e Leal, 2017). Para tal, é necessário dotar as escolas de professores reflexivos, em que cada professor seja um professor-investigador.

Segundo Alarcão (2001) o termo professor-investigador associa-se a Stenhouse na década de 60. Porém, já Dewey nos anos 30 se referira a um professor como “estudantes do ensino”. Desde então, vários investigadores têm-se dedicado a este tema argumentando que o professor deve ser mais do que um sujeito ou consumidor de pesquisa educacional e que a pesquisa dos profissionais tem um papel específico na geração de conhecimento educacional (McLaughlin; Black-Hawkins & McIntyre, 2004; Slomski & Martins, 2008). Os professores devem pensar *na* e *sobre* a ação (Schön, 1995).

Hodiernamente este termo faz todo o sentido até porque o ponto 4 do art.º 2 do Dec.-Lei n.º 139/2012 refere que,

“As estratégias de concretização e desenvolvimento do currículo são objeto de planos de atividades, integrados no respetivo projeto educativo, adaptados às características das turmas, através de programas próprios, a desenvolver pelos professores titulares de turma, em articulação com o conselho de docentes, ou pelo conselho de turma, consoante os ciclos”.

Assim, o que se reclama é que o professor não seja um mero cumpridor dos programas curriculares, mas que reflita e opere em situações reais, de forma crítica, as orientações globais. O professor deve construir o currículo em ação com os seus colegas e alunos tendo em conta as vivências do público alvo e no respeito pelas orientações do ministério.

Esta responsabilidade não se faz por decreto, mas vai-se construindo na formação inicial de professores. O estímulo à pesquisa, à reflexão e ao desenvolvimento de práticas pedagógicas que visem a utilização de diversas metodologias só é possível com professores que tenham tempo: tempo para investigar; tempo para refletir; tempo para partilhar; tempo para aplicar. Este facto torna-se um pouco antagónico com o

supracitado ponto 4 do art.º 2 Dec.-Lei n.º 139/2012, na medida em que os currículos são demasiado extensos e os professores para cumprirem as planificações têm pouco tempo para o desenvolvimento e concretização de adaptações curriculares bem como atividades estimuladoras de pensamento crítico, resolução de problemas, investigação e reflexão.

Stenhouse (1975) defendia a ideia de *“uma ciência educativa em que cada sala de aula é um laboratório e cada professor um membro da comunidade científica”* (p. 141). Sendo o professor o responsável pela sua sala de aula, ele pode ser um ótimo pesquisador e experimentalista na medida em que é um observador e coloca em prática. Roldão (2000) adota uma postura muito semelhante à de Stenhouse ao referir que *“pensar curricularmente significa tão só assumir conscientemente uma postura reflexiva e analítica face ao que constitui a sua prática quotidiana, concebendo-a como campo de saber próprio a desenvolver e aprofundar e não como normativo que apenas se executa sem agir sobre ele”* (p.17).

É num diálogo entre reflexão e prática que o professor-investigador compreende melhor os acontecimentos oriundos da sua prática educativa e encontra soluções para os problemas que possam surgir com a finalidade de dirigir as suas práticas futuras (Coutinho et al., 2009), melhorando, assim, a prática e obtendo melhores resultados na díade ensino-aprendizagem.

Assim, todo o professor-investigador investiga *na, sobre e para* a ação educativa com o intuito de partilhar os resultados com seus pares e assim melhorar a escola. Foi, também, com esta intenção que este trabalho se desenvolveu.

Por vezes, o professor-investigador encontra-se demasiado imbricado, o que o impede de realizar uma leitura e análise neutra. Para que isso não acontecesse, neste nosso estudo, recorremos a um professor-colaborador. Este professor-colaborador teve como finalidade efetuar uma leitura neutra da execução do PI, completando os dados da professora-investigadora.

Como já referido, no ponto IV.7, do capítulo IV (programa de intervenção), o professor-colaborador tinha largos anos de experiência no ensino das ciências naturais e era um defensor do trabalho colaborativo entre pares, organizado e reflexivo. Para saber o que se pretendia com este estudo, o professor-colaborador esteve presente na edificação dos instrumentos de avaliação e recolha de dados, bem como em diálogo constante e profícuo com a professora-investigador.

CAPÍTULO VI: Apresentação dos resultados e discussão

VI.1 Introdução

Neste capítulo os resultados serão apresentados por instrumento de investigação. Assim, inicia-se com a apresentação e discussão dos resultados obtidos com a aplicação do teste. Posteriormente são apresentados os resultados obtidos nos V de Gowin e é realizada uma análise da opinião dos alunos acerca da metodologia utilizada.

A apresentação dos resultados por instrumento é posteriormente seccionada por investigadores (professor-investigador e professor-colaborador), assim como por PI (formação dos Himalaias e modelação de falhas e dobras). Não terminamos sem a análise por tipo de raciocínio (raciocínio científico, raciocínio por analogia e raciocínio interpretativo e histórico). Por investigador responsável e em cada PI.

Terminamos o capítulo com a apresentação e análise dos resultados obtidos em entrevistas focais realizadas num dos grupos experimentais da amostra da professora-investigadora e no grupo experimental da amostra do professor-colaborador.

VI.2 Estudo quasi-experimental tendo por base os resultados globais do teste

Inicia-se com uma análise dos resultados obtidos nas amostras do estudo quasi-experimental, realizado pela professora-investigadora e pelo professor-colaborador com o resultado global obtido com o teste.

VI.2.1 Estudo quasi-experimental com a professora-investigadora

Esta secção inicia-se com a apresentação dos dados obtidos pela professora-investigadora e relativos ao PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias. Posteriormente, é apresentado um estudo semelhante, mas relativo ao PI sobre a formação de dobras e falhas (Apêndices VI, VIII, XV e XVII).

VI.2.1.1 A modelação dos Himalaias

Dando início ao estudo quasi-experimental, foi feita uma avaliação inicial da amostra (n_1), recorrendo-se ao Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Antes da realização deste teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.1.

Quadro 6.1. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra (n_1).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	21,1	11,29	6	42
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	19,6	12,14	0	40
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	19,1	8,43	4	38

Pretendeu-se, também, verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 100 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação.

HA: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação.

Para comparar os resultados obtidos entre o grupo 1 e o grupo 3 realizamos o teste Mann-Whitney e obtiveram-se valores não significativos ($U=169,500$; $p=0,791$). Assim, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo

1 e grupo 3) não são inicialmente distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Realizou-se o mesmo procedimento para os grupos 2 e 3, partindo-se de hipótese similar:

H0: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação.

HB: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 2 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=219,500$; $p=0,980$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Para a primeira parte do PI, modelação dos Himalaias, foi então considerado como grupo de controlo o grupo 3 e como grupos experimentais o grupo 1 e o grupo 2.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o mesmo teste cognitivo (pós-teste). Os resultados obtidos por cada grupo relativo ao pós-teste encontram-se descritos no quadro 6.2.

Quadro 6.2. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	52,7	16,44	20	77
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	54,8	16,24	18	86
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	29,2	14,97	0	60

Comparando os dados do quadro 6.2 com os do quadro 6.1 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer nos grupos experimentais). Grupos estatisticamente semelhantes tornaram-se distintos

após a intervenção, sendo os maiores ganhos verificados nos grupos experimentais (grupo 1 e 2).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 3, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=51,000$; $p=0,000$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos.

Realizou-se o mesmo teste para os grupos 2 e 3 obtendo-se também valores significativos ($U=54,000$; $p=0,000$). Após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos.

É notório que grupos que inicialmente não tinham diferenças significativas na avaliação com o teste (após a utilização de modelos para o ensino onde foram estimulados o desenvolvimento dos raciocínios por analogia, científico, interpretativo e histórico) se consubstanciou em melhorias cognitivas evidentes. Grupos estatisticamente semelhantes antes da intervenção tornaram-se grupos diferentes após a intervenção. Apesar de se terem verificado melhorias em ambos os grupos, os maiores ganhos ocorreram nos grupos experimentais.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.3.

Quadro 6.3. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).

	Média pré-teste	Média pós-teste	Wilcoxon (Z)	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	21,1	52,7	-3,528	0,000
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	19,6	54,8	-3,965	0,000
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	19,1	29,2	-2,260	0,024

Para o grupo 1 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria na média, passando de 21, para 52. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-3,528$; $p=0,000$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 19,6 para 54,8. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,965$; $p=0,000$).

Para o grupo 3 (grupo de controlo) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 19,1 para 29,2. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-2,260$; $p=0,024$).

No quadro 6.4 encontra-se resumida a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_1 , no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Quadro 6.4. Resumo da análise dos resultados obtidos utilizando o modelo da formação dos Himalaias ($n_1=59$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{1a}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=169,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=51,000$; $p<0,01$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,528$; $p<0,01$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,965$; $p<0,01$) Grupo 3 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-2,260$; $p<0,05$)
Grupo 2 (n_{1b}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=219,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=54,000$; $p<0,01$)	
IC – Intervalo de Confiança			

Da análise do quadro 6.4 podemos verificar que ambos os grupos (experimental e de controlo) melhoraram do pré para o pós-teste, o que significa que a metodologia tradicional também surte efeito positivo no desenvolvimento dos diversos raciocínios. Contudo, quando se compara os grupos experimentais com o grupo de controlo é possível verificar que grupos que antes da intervenção eram estatisticamente semelhantes, após a intervenção do PI tornaram-se estatisticamente distintos. Obteve-se diferentes distribuições da avaliação, sendo a melhoria das médias significativa e superior nos grupos experimentais.

A figura VI.1 representa um gráfico que ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_1 relativo ao PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

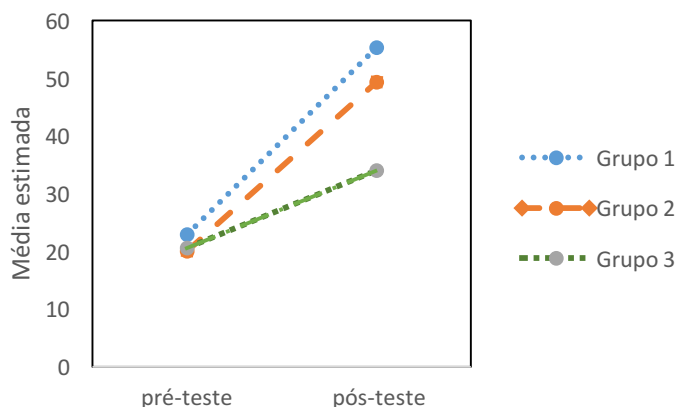


Fig. VI.1. Efeito interativo relativo às médias obtidas no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.

Como se pode constatar, a análise do gráfico da Fig. VI.1 corrobora uma subida das médias em todos os grupos tendo sido mais acentuada nos grupos 1 e 2, que eram os grupos experimentais.

VI.2.1.2 A modelação de falhas e dobras

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Antes da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.5.

Quadro 6.5. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	22,9	12,25	2	56
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	20,0	17,38	0	66
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	20,6	13,18	0	48

Pretendeu-se, também, verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 100 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação.

HC: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação.

Ao comparar os resultados conseguidos entre o grupo 1 e o grupo 3, aplicando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=161,000$; $p=0,606$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0, e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Realizou-se o mesmo procedimento para os grupos 2 e 3, partindo-se de hipótese similar:

H0: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação.

HD: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação.

Ao comparar os resultados conseguidos entre o grupo 2 e o grupo 3, aplicando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=200,500$; $p=0,614$). Pelo que, consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Para o PI, modelação de dobras e falhas, foi então considerado como grupo de controlo o grupo 3 e como grupos experimentais o grupo 1 e o grupo 2.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados obtidos por cada grupo relativo ao pós-teste encontram-se descritos no quadro 6.6.

Quadro 6.6. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	55,4	15,69	38	96
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	49,4	28,37	10	98
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	34,0	18,88	2	67

Comparando os dados do quadro 6.5 com os do quadro 6.6 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer nos grupos experimentais).

Grupos estatisticamente semelhantes tornaram-se distintos após a intervenção, sendo os maiores ganhos verificados nos grupos experimentais (grupo 1 e 2).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 3, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=69,000$; $p=0,001$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos.

Realizou-se o mesmo teste para os grupos 2 e 3 obtendo-se valores não significativos ($U=151,000$; $p=0,080$). Após a utilização de modelos para o ensino, não se obteve uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos ($p=0,080$).

É notório que grupos que inicialmente não tinham diferenças significativas na avaliação, grupo 1 e grupo 3, após a utilização de modelos para o ensino (que estimulem os raciocínios por analogia, interpretativo e histórico e que promovam o desenvolvimento de processos científicos) houve melhorias cognitivas evidentes. Apesar de se ter verificado melhorias em ambos os grupos, os maiores ganhos ocorreram no grupo experimental. Apesar de no grupo 2 e grupo 3 se obtiveram melhorias nas médias dos pré para os pós-testes, mas não foram significativas de um grupo para o outro. O grupo 1 e grupo 3, estatisticamente semelhantes antes da intervenção, tornaram-se grupos diferentes após a intervenção.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.7.

Quadro 6.7. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).

	Média pré-teste	Média pós-teste	Wilcoxon (Z)	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	22,9	55,4	-3,623	0,000
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	20,0	49,4	-3,252	0,001
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	20,6	34,0	-2,608	0,009

Para o grupo 1 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria na média, passando de 22,9 para 55,4. A diferença obtida revelou ser estatisticamente significativa dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-3,623$; $p=0,000$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 20,0 para 49,4. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-3,252$; $p=0,001$).

Para o grupo 3 (grupo de controlo) também se verificou uma melhoria significativa na média, passando de 20,6 para 34,0. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-2,608$; $p=0,009$).

No quadro 6.8 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_1 na parte do PI relativo à formação de dobras e falhas.

Quadro 6.8. Resumo da análise dos resultados obtidos utilizando o modelo da formação de dobras e falhas ($n_1=59$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{1a}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=161,000$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=69,000$; $p<0,01$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,623$; $p<0,01$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,252$; $p<0,01$) Grupo 3 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-2,608$; $p<0,05$)
Grupo 2 (n_{1b}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=200,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente não distintos ($U=151,500$; $p>0,05$)	

IC – Intervalo de Confiança

Da análise do quadro 6.8 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste, o que significa que a metodologia tradicional também surte efeito positivo no desenvolvimento do Raciocínio. Contudo, quando se compara os grupos experimentais com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente semelhantes, por outras palavras, tinham a mesma distribuição da avaliação. E, após a intervenção da segunda parte do PI, o grupo 1 (experimental) tornou-se estatisticamente distinto do grupo 3 (grupo de controlo). Isto é, obtiveram diferentes distribuições da avaliação. O grupo 2, que também era experimental, não obteve diferente distribuição da avaliação comparativamente com o grupo de controlo (grupo 3). Assim, num grupo experimental existiu mudança significativa, mas noutro grupo experimental a modificação não foi estatisticamente significativa em relação ao grupo de controlo.

A Fig. VI.2 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_1 relativo ao PI sobre a formação de falhas e dobras.

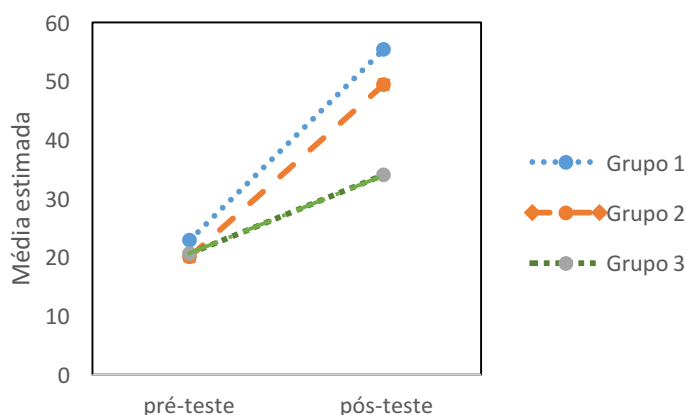


Fig. VI.2. Efeito interativo relativo às médias obtidas no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.

A análise do gráfico da Fig. VI.2 corrobora uma subida das médias em ambos os grupos tendo sido um pouco mais acentuada nos grupos 1 e 2, que eram os grupos experimentais.

VI.2.2. Estudo quasi-experimental com o professor-colaborador

Principia-se com a apresentação dos dados obtidos pelo professor-colaborador relativos à parte do PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias. Posteriormente, são apresentados os dados obtidos do estudo quasi-experimental relativos à parte do PI sobre a formação de dobras e falhas (Apêndices VII, XIX, XVI e XVIII).

VI.2.2.1. A modelação dos Himalaias

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra (n_2), utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Antes da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.9.

Quadro 6.9. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}= 24$)	11,8	8,22	0	28
Grupo 2 ($n_{2a}= 21$)	11,2	9,60	0	40

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 100 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação.

HE: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação.

Ao comparar os resultados conseguidos entre o grupo 1 e o grupo 2, aplicando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=238,500$; $p=0,757$). Pelo que concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Para a modelação dos Himalaias, foi então considerado como grupo de controlo o grupo 1 e o grupo 2 como grupo experimental.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados obtidos por cada grupo relativo ao pós-teste encontram-se descritos no quadro 6.10.

Quadro 6.10. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	19,9	17,81	0	66
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	35,2	12,23	14	57

Da comparação do quadro 6.9 e do quadro 6.10 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer no grupo experimental).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 2, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=111,500$; $p=0,001$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos. Grupos estatisticamente semelhantes tornaram-se distintos após a intervenção, sendo os maiores ganhos verificados no grupo experimental (grupo 2). Por outras palavras, grupos com a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção tornaram-se grupos com diferente distribuição da avaliação após a intervenção.

É notório que grupos que inicialmente não tinham diferenças significativas, na avaliação, após a utilização de modelos para o ensino que estimulem os raciocínios por analogia, interpretativo e histórico e que promovam o desenvolvimento de processos científicos tenham obtido melhorias cognitivas evidentes. Grupos estatisticamente semelhantes antes da intervenção tornaram-se grupos diferentes após a intervenção.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.11.

Quadro 6.11. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).

	Média pré-teste	Média pós- teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	11,8	19,9	-1,722	0,085
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	11,2	35,2	-4,015	0,000

Para o grupo 1 (grupo controlo) verificou-se uma melhoria na média, passando de 11,8 para 19,9. A diferença obtida revelou-se não ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-1,722$; $p=0,085$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 11,2 para 35,2. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-4,015$ $p=0,000$).

No quadro 6.12 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_2 na parte do PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Quadro 6.12. Resumo da análise dos resultados obtidos utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{2c}) e Grupo 2 (n_{2a})	Estatisticamente não distintos ($U=238,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=111,500$; $p<0,01$)	Grupo 1 – estatisticamente não significativo ($Z=-1,722$; $p>0,05$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-4,015$; $p<0,01$)

IC – Intervalo de Confiança

Da análise do quadro 6.12 podemos verificar que apenas o grupo experimental melhorou significativamente do pré para o pós-teste. Quando se compara o grupo experimental com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente semelhantes. Após a intervenção do PI o grupo 2 (experimental) tornou-se estatisticamente distinto do grupo 1 (grupo de controlo). Isto é,

obtiveram diferentes distribuições da avaliação, sendo significativamente e superior no grupo experimental.

O gráfico da Fig.VI.3 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_2 relativo ao PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

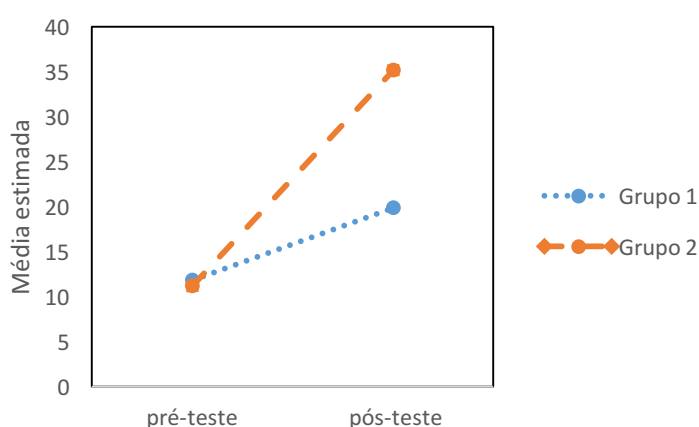


Fig. VI.3 Efeito interativo relativo às médias obtidas no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.

A análise da Fig. VI.3 corrobora que a média no grupo 2 (grupo experimental) subiu, do pré-teste para o pós-teste, consideravelmente em relação ao grupo de controlo.

Salienta-se o facto de as médias no pré-teste serem de nível 1 (numa escala de classificação de 1 a 5) e no pós-teste serem de nível 2. Ou seja, as médias melhoraram, mas os alunos continuaram com resultados abaixo do expectável, que seria, pelo menos, classificação de nível 3.

VI.2.2.2 A modelação de falhas e dobras

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Antes da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.13.

Quadro 6.13. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	7,5	11,71	0	52
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	7,2	7,7	0	26

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 100 pontos, diferia entre grupos. Concebeu-se duas hipóteses:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação.

HF: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação.

Ao comparar os resultados conseguidos entre o grupo 1 e o grupo 2, aplicando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=221,500$; $p=0,476$), pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Para o PI, modelação de dobras e falhas, foi então considerado como grupo de controlo o grupo 1 e grupo 2 como grupo experimental.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados obtidos por cada grupo relativo ao pós-teste encontram-se descritos no quadro 6.14.

Quadro 6.14. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	15,5	13,34	1	58
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	21,2	12,63	6	52

Da análise do quadro 6.14 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer no grupo experimental). Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 2, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores não significativos ($U=183,000$; $p=0,116$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, não se obteve uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos.

É notório que grupos que inicialmente não tinham diferenças significativas, na avaliação, após a utilização de modelos para o ensino (que estimulem os raciocínios por analogia, interpretativo e histórico, assim como, promovam o desenvolvimento de processos científicos) obtiveram melhorias cognitivas evidentes. Contudo, essas melhorias não são estatisticamente significativas no final da intervenção.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.15.

Quadro 6.15. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).

	Média pré-teste	Média pós-teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	7,5	15,5	-2,450	0,014
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	7,2	21,2	-3,887	0,000

Para o grupo 1 (grupo controlo) verificou-se uma melhoria na média, passando de 7,5 para 15,5. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-2,450$; $p = 0,014$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 7,2 para 21,2. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,887$; $p = 0,000$).

Assim, segundo o Teste de Wilcoxon, quer o grupo 1 quer o grupo 2 melhoraram do pré para o pós-teste significativamente, revelando um impacto positivo da intervenção.

No quadro 6.16 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_2 no PI sobre a formação de falhas e dobras.

Quadro 6.16. Resumo da análise dos resultados obtidos utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_2=45$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{2c}) e Grupo 2 (n_{2a})	Estatisticamente não distintos ($U=221,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente não distintos ($U=183,000$; $p>0,05$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-2,450$; $p<0,05$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,887$; $p<0,01$)

IC – Intervalo de Confiança

Da análise do quadro 6.16 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste. Quando se compara o grupo experimental com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente semelhantes, por outras palavras, tinham a mesma distribuição da avaliação e após a intervenção do PI continuaram a ser semelhantes, isto é, com a mesma distribuição da avaliação.

O gráfico da Fig. VI.4 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_2 relativo ao PI sobre a formação de falhas e dobras.

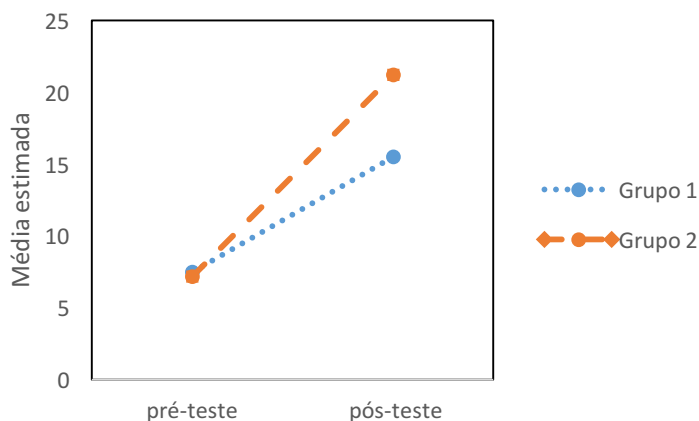


Fig. VI.4 Efeito interativo relativo às médias obtidas no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.

A análise da Fig. VI.4 corrobora que apesar de ter existido uma subida nas médias do pré para o pós-teste e de a subida ter sido mais significativa no grupo experimental (grupo 2) as médias continuaram demasiado baixas, não chegaram à positiva (50% numa escala de 0 a 100). Alunos que no pré-teste tinham média de nível 1 passaram no pós-teste a ter média de nível 2 (no grupo experimental). No grupo de controlo alunos de nível 1 continuaram de nível 1. Revelando um impacto positivo da intervenção.

VI.3 Estudo quasi-experimental tendo por base os resultados sobre os diferentes tipos de Raciocínio

Aquando da elaboração dos testes teve-se em atenção, como já foi referido, o tipo de raciocínio que se pretendia avaliar em cada questão. Como tal, depois da análise dos resultados globais dos testes obtidos quer na parte do PI relativos à formação de

cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, quer na parte do PI relativo à formação de falhas e dobras, apresentam-se os resultados sobre os diferentes tipos de raciocínio. Para uma melhor análise dos resultados obtidos apresentamos as questões do teste que avaliam cada tipo de raciocínio analisado neste estudo (o raciocínio por analogia, o raciocínio científico e o raciocínio histórico e interpretativo). Assim, nos quadros 6.17 a 6.22 encontram-se os tipos de raciocínio avaliados em cada questão, relativos ao teste da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias e ao teste da formação de dobras e falhas. Nos Apêndices II e XII é possível consultar os respetivos testes com as cotações para cada questão.

No teste sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, as questões relativas ao raciocínio por analogia valiam um máximo de 44 pontos; as questões relativas ao raciocínio científico valiam um máximo de 48 pontos e as questões relativas ao raciocínio histórico e interpretativo valiam um máximo de 56 pontos.

Relativamente ao teste sobre a formação de falhas e dobras, as questões relativas ao raciocínio por analogia valiam um máximo de 62 pontos; as questões relativas ao raciocínio científico valiam um máximo de 48 pontos e as questões relativas ao raciocínio histórico e interpretativo valiam um máximo de 76 pontos.

Realça-se que os testes foram cotados para 100%, mas como há questões que avaliam mais do que um tipo de raciocínio a soma dos raciocínios analisados é superior a 100.

No quadro 6.17 encontram-se as questões do teste da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias relativas ao raciocínio por analogia.

Quadro 6.17. Questões do teste sobre a formação dos Himalaias que avaliam o raciocínio por analogia.

Tipo de Raciocínio	N.º questão	Questão
	Q5.1	De acordo com as figuras, faça a correspondência entre os termos da Coluna I, materiais do modelo, com os termos da Coluna II, que exhibe o que pretende representar. <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>Coluna I</div> <div>Coluna II</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> 1. Placa A 2. Placa B 3. Plasticina lilás 4. Plasticina vermelha 5. Plasticina verde 6. Areias </div> <div> a. Placa Indiana b. Fundo do oceano (crusta oceânica) c. Placa Euroasiática d. Crusta de transição e. Sedimentos marinhos f. Crusta oceânica mais profunda </div> </div>
	Q5.3	Refira que tipo de movimento levou à formação dos Himalaias. _____ movimento divergente _____ movimento convergente _____ movimento transformante (Assinale com um X a resposta correta)
	Q5.4	Indique o que pensa ter acontecido à zona representada pela plasticina vermelha durante a formação dos Himalaias. _____ foi subductada _____ foi enrugada _____ foi subductada e enrugada (Assinale com um X a resposta correta)
	Q5.5	Considere que o modelo apresentado pretende estabelecer uma analogia com: _____ formação de Riftes, em particular a zona da crista média oceânica atlântica. _____ formação de cadeias montanhosas, em particular os Himalaias. _____ formação de falhas de desligamento, em particular a falha de Santo André. (Assinale com um X a resposta correta)
Raciocínio por analogia	Q6	Ordene cronologicamente, de acordo com o modelo apresentado, as afirmações A, B e C, referentes ao aparecimento de fósseis marinhos nos Himalaias. a) A placa Indiana moveu-se para Norte, em coordenadas atuais, e iniciou o processo de colisão com a placa Euroasiática. Houve subducção de um fragmento de oceano entre a microplaca Indiana e a macroplaca Euroasiática e o respetivo consumo dessa crusta oceânica (destruição da crusta oceânica). A crusta oceânica ao ser subductada origina, por combinação de fenómenos de fusão e vulcanismo, intrusões magmáticas que fazem espessar a crusta da placa Euroasiática. b) As unidades litológicas onde se encontram alguns fósseis dos seres marinhos sofrem elevação. Devido aos fenómenos de erosão e enrugamento, com subida das unidades litológicas suprajacentes, os fósseis surgem à superfície. c) A placa Indiana quando colidiu com o bordo Sul, em coordenadas atuais, da placa Euroasiática, como tinha uma densidade semelhante à placa Euroasiática e menor do que a do manto e crusta superior, não mergulhou mas originou um processo de enrugamento. A bacia oceânica que existia entre os dois continentes fechou.

No quadro 6.18 encontram-se as questões do teste da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias relativas ao raciocínio científico.

Quadro 6.18. Questões do teste sobre a formação dos Himalaias que avaliam o raciocínio científico.

Tipo de Raciocínio	N.º questão	Questão
	Q1.2	Explique, com base no texto B, o aparecimento de fósseis marinhos em montanhas, como por exemplo, nos Himalaias.
	Q1.3	Qual dos textos está mais de acordo com a sua opinião. Justifique.
	Q2.1	Explique, apoiando-se na Fig. 2, como é que atualmente estes continentes estão separados.
	Q3	As grandes cadeias montanhosas continentais estão localizadas maioritariamente ao longo dos bordos continentais ou de antigos bordos continentais já colididos no passado. Como explica este facto.
	Q4	Elabore uma explicação para a formação de cadeias montanhosas, tipo a dos Andes e a dos Himalaias.
Raciocínio científico	Q6	<p>Ordene cronologicamente, de acordo com o modelo apresentado, as afirmações A, B e C, referentes ao aparecimento de fósseis marinhos nos Himalaias.</p> <p>a) A placa Indiana moveu-se para Norte, em coordenadas atuais, e iniciou o processo de colisão com a placa Euroasiática. Houve subducção de um fragmento de oceano entre a microplaca Indiana e a macroplaca Euroasiática e o respetivo consumo dessa crusta oceânica (destruição da crusta oceânica). A crusta oceânica ao ser subductada origina, por combinação de fenómenos de fusão e vulcanismo, intrusões magmáticas que fazem espessar a crusta da placa Euroasiática.</p> <p>b) As unidades litológicas onde se encontram alguns fósseis dos seres marinhos sofrem elevação. Devido aos fenómenos de erosão e enrugamento, com subida das unidades litológicas suprajacentes, os fósseis surgem à superfície.</p> <p>c) A placa Indiana quando colidiu com o bordo Sul, em coordenadas atuais, da placa Euroasiática, como tinha uma densidade semelhante à placa Euroasiática e menor do que a do manto e crusta superior, não mergulhou mas originou um processo de enrugamento. A bacia oceânica que existia entre os dois continentes fechou.</p>

No quadro 6.19 encontram-se as questões do teste da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias relativas ao raciocínio histórico e interpretativo.

Quadro 6.19. Questões do teste sobre a formação dos Himalaias que avaliam o raciocínio histórico e interpretativo.

Tipo de Raciocínio	N.º questão	Questão
Raciocínio histórico e interpretativo	Q1.1	Explique, com base no texto A, o aparecimento de fósseis marinhos em montanhas, como por exemplo, nos Himalaias.
	Q1.2	Explique, com base no texto B, o aparecimento de fósseis marinhos em montanhas, como por exemplo, nos Himalaias.
	Q5.2	O movimento representado pelo modelo é entre que placas? _____ crusta continental vs crusta continental _____ crusta oceânica vs crusta oceânica _____ crusta continental vs crusta oceânica (Assinale com um X a resposta correta)
	Q5.4	Indique o que pensa ter acontecido à zona representada pela plasticina vermelha durante a formação dos Himalaias. _____ foi subductada _____ foi enrugada _____ foi subductada e enrugada (Assinale com um X a resposta correta)
	Q5.5	Considera que o modelo apresentado pretende estabelecer uma analogia com: _____ formação de Riftes, em particular a zona da crista média oceânica atlântica. _____ formação de cadeias montanhosas, em particular os Himalaias. _____ formação de falhas de desligamento, em particular a falha de Santo André. (Assinale com um X a resposta correta)
	Q6	Ordene cronologicamente, de acordo com o modelo apresentado, as afirmações A, B e C, referentes ao aparecimento de fósseis marinhos nos Himalaias. a) A placa Indiana moveu-se para Norte, em coordenadas atuais, e iniciou o processo de colisão com a placa Euroasiática. Houve subducção de um fragmento de oceano entre a microplaca Indiana e a macroplaca Euroasiática e o respetivo consumo dessa crusta oceânica (destruição da crusta oceânica). A crusta oceânica ao ser subductada origina, por combinação de fenómenos de fusão e vulcanismo, intrusões magmáticas que fazem espessar a crusta da placa Euroasiática. b) As unidades litológicas onde se encontram alguns fósseis dos seres marinhos sofrem elevação. Devido aos fenómenos de erosão e enrugamento, com subida das unidades litológicas suprajacentes, os fósseis surgem à superfície. c) A placa Indiana quando colidiu com o bordo Sul, em coordenadas atuais, da placa Euroasiática, como tinha uma densidade semelhante à placa Euroasiática e menor do que a do manto e crusta superior, não mergulhou mas originou um processo de enrugamento. A bacia oceânica que existia entre os dois continentes fechou.

No quadro 6.20 encontram-se as questões do teste da formação de falhas e dobras relativas ao raciocínio por analogia.

Quadro 6.20. Questões do teste sobre a formação de falhas e dobras que avaliam o raciocínio por analogia.

Tipo de Raciocínio	N.º questão	Questão							
Raciocínio por analogia	Q1	Esquematize e legende uma dobras.							
	Q2	Esquematize e legende uma falha.							
	Q3.1.1	Refira que comportamentos têm os materiais quando: dobram e voltam à posição inicial.							
	Q3.1.2	fraturam.							
	Q3.1.3	dobram e não voltam à posição inicial.							
	Q4.1	Indique o que representam as camadas de areia de cor diferente.							
	Q4.2	Refira qual o significado das setas.							
	Q4.3	Faça a correspondência entre as letras da Coluna I (representadas nas figuras anteriores) com os termos da Coluna II.							
		<table><tr><td>Coluna I</td><td>Coluna II</td></tr><tr><td>A</td><td>1. Dobra</td></tr><tr><td>B</td><td>2. Falha normal</td></tr><tr><td>C</td><td>3. Falha inversa</td></tr></table>	Coluna I	Coluna II	A	1. Dobra	B	2. Falha normal	C
Coluna I	Coluna II								
A	1. Dobra								
B	2. Falha normal								
C	3. Falha inversa								

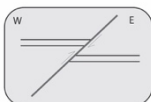

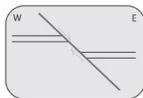
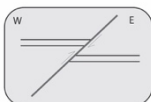

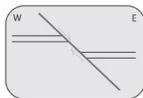
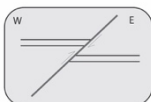

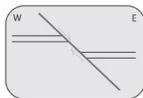
No quadro 6.21 encontram-se as questões do teste da formação de falhas e dobras relativas ao raciocínio científico.

Quadro 6.21. Questões do teste sobre a formação de falhas e dobras que avaliam o raciocínio científico.

Tipo de Raciocínio	N.º questão	Questão
Raciocínio científico	Q1	Esquematize e legende uma dobras.
	Q2	Esquematize e legende uma falha.
	Q3.2	Com base nos materiais que possui na sua bancada e no gráfico anterior refira que comportamento apresenta: a plasticina quando dobra.
	Q3.3	a plasticina quando fratura.
	Q3.4	o pau de giz quando fratura.
	Q3.5	a bola saltitona.

No quadro 6.22 encontram-se as questões do teste da formação de falhas e dobras relativas ao raciocínio histórico e interpretativo.

Quadro 6.22. Questões do teste sobre a formação de falhas e dobras que avaliam o raciocínio interpretativo e histórico.

Tipo de Raciocínio	N.º questão	Questão							
Raciocínio histórico e interpretativo	Q3.1.1	Refira que comportamentos têm os materiais quando: dobram e voltam à posição inicial.							
	Q3.1.2	fraturam.							
	Q3.1.3	dobram e não voltam à posição inicial.							
	Q3.2	Com base nos materiais que possui na sua bancada e no gráfico anterior refira que comportamento apresenta: a plasticina quando dobra.							
	Q3.3	a plasticina quando fratura.							
	Q3.4	o pau de giz quando fratura.							
	Q3.5	a bola saltitona.							
	Q4.2	Refira qual o significado das setas.							
	Q4.3	Faça a correspondência entre as letras da Coluna I (representadas nas figuras anteriores) com os termos da Coluna II.							
		<table><tr><td>Coluna I</td><td>Coluna II</td></tr><tr><td>A</td><td>1. Dobra</td></tr><tr><td>B</td><td>2. Falha normal</td></tr><tr><td>C</td><td>3. Falha inversa</td></tr></table>	Coluna I	Coluna II	A	1. Dobra	B	2. Falha normal	C
Coluna I	Coluna II								
A	1. Dobra								
B	2. Falha normal								
C	3. Falha inversa								
Q5	Identifique os fenómenos representados pelas letras A, B e C da coluna I com os termos da coluna II.								
	<table><tr><td>Coluna I</td><td>Coluna II</td></tr><tr><td>A </td><td>1. Falha de desligamento direito 2. Falha inversa ou de cavalgamento 3. Falha normal</td></tr><tr><td>B </td><td></td></tr><tr><td>C </td><td></td></tr></table>	Coluna I	Coluna II	A 	1. Falha de desligamento direito 2. Falha inversa ou de cavalgamento 3. Falha normal	B 		C 	
Coluna I	Coluna II								
A 	1. Falha de desligamento direito 2. Falha inversa ou de cavalgamento 3. Falha normal								
B 									
C 									

Como há questões que avaliam mais do que um tipo de raciocínio elas encontram-se referenciadas nos respetivos quadros.

VI.3.1 Estudo quasi-experimental com a professora-investigadora

Principia-se com a apresentação dos dados obtidos pela professora-investigadora relativos ao PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias. Posteriormente, são apresentados os dados obtidos do estudo quasi-experimental relativos ao PI sobre a formação de dobras e falhas.

VI.3.1.1 A modelação dos Himalaias

VI.3.1.1.1 Raciocínio por analogia

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra (n_1), utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Previamente da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.23.

Quadro 6.23. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	12,4	8,87	0	28
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	15,7	8,30	0	30
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	14,6	8,54	4	38

Pretendendo-se verificar se o sucesso escolar dos alunos que teve por base o raciocínio por analogia, medido numa escala de 44 pontos (equivalente a 100%), diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

HG: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 1 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=156,500$; $p=0,516$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H_0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações no que diz respeito ao raciocínio por analogia. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação, no raciocínio por analogia, antes da intervenção.

Realizou-se o mesmo procedimento para os grupos 2 e 3, partindo-se de hipótese similar:

H_0 : Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

H_H : Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 2 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=191,500$; $p=0,463$). Pelo que, consideramos que os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição de avaliação antes da intervenção e relativamente ao raciocínio por analogia.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados obtidos, no pós-teste, por cada grupo relativo ao raciocínio por analogia encontram-se descritos no quadro 6.24.

Quadro 6.24. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	28,7	10,07	10	44
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	30,7	9,34	0	44
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	14,4	7,86	0	26

Da análise do quadro 6.24 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer nos grupos experimentais).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 3, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=50,000$; $p=0,000$).

Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes grupos.

Realizou-se o mesmo teste para os grupos 2 e 3 obtendo-se também valores significativos ($U=37,500$; $p=0,000$). Assim, após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes grupos.

É notório que grupos que inicialmente não tinham diferenças significativas, na avaliação, após a utilização de modelos para o ensino houve melhorias cognitivas evidentes. Grupos estatisticamente semelhantes antes da intervenção tornaram-se grupos diferentes após a intervenção. Apesar de se ter verificado melhorias em ambos os grupos, os maiores ganhos ocorreram nos grupos experimentais.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.25.

Quadro 6.25. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).

	Média pré-teste	Média pós-teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	12,4	28,7	-3,420	0,001
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	15,7	30,7	-3,383	0,001
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	14,6	14,4	-0,263	0,792

Para o grupo 1 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria na média, passando de 12,4 para 28,7. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa ($Z=-3,420$; $p=0,001$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 15,7 para 30,3. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,383$; $p=0,001$).

Para o grupo 3 (grupo de controlo) não se verificou uma melhoria significativa na média, passando de 14,6 para 14,4. A diferença obtida revelou-se estatisticamente não significativa ($Z=-0,263$; $p=0,792$).

No quadro 6.26 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_1 no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, relativo à parte do teste que envolvia questões de raciocínio por analogia.

Quadro 6.26. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio por analogia, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{1a}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=156,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=50,000$; $p<0,01$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,420$; $p<0,01$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,383$; $p<0,01$) Grupo 3 – estatisticamente não significativo ($Z=-0,263$; $p>0,05$)
Grupo 2 (n_{1b}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=191,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=37,500$; $p<0,01$)	

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.26 podemos verificar que apenas os grupos experimentais melhoraram significativamente do pré para o pós-teste. Quando se compara os grupos experimentais com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção que eram estatisticamente semelhantes. Se tornaram estatisticamente distinto do grupo 3 (grupo de controlo). Isto é, obtiveram diferentes distribuições da avaliação. O mesmo sucedeu com o grupo 2, que também era experimental, comparativamente com o grupo de controlo (grupo 3). Assim, a avaliação do raciocínio por analogia, na parte do PI que incidiu sobre da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, foi estatisticamente significativa apenas nos grupos experimentais.

O gráfico da Fig. VI.5 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_1 relativo ao raciocínio por analogia no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

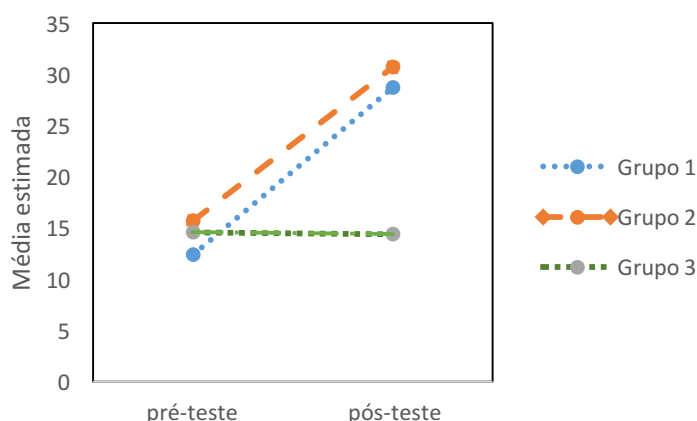


Fig. VI.5 Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio por analogia no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.

Da análise da Fig. VI.5 podemos corroborar que houve uma subida, significativa, das médias do pré para o pós-teste dos grupos experimentais (grupo 1 e grupo 2) em relação ao grupo de controlo, no que diz respeito ao raciocínio por analogia.

VI.3.1.1.2 Raciocínio científico

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Previamente à realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.27.

Quadro 6.27. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	4,4	4,65	0	16
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	2,4	3,88	0	16
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	1,5	2,68	0	10

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 48 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio científico.

H1: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio científico.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 1 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=107,000$; $p=0,026$). Pelo que, concluímos pela rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são distintos relativamente às classificações no que diz respeito ao raciocínio científico. Por outras palavras, os grupos têm diferente distribuição da avaliação antes da intervenção.

Realizou-se o mesmo procedimento para os grupos 2 e 3, partindo-se de hipótese similar:

H0: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio científico.

HJ: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio científico.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 2 e o grupo 3 obtiveram-se valores significativos ($U=187,500$; $p=0,359$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção, relativamente ao raciocínio científico.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados obtidos, no pós-teste, por cada grupo relativo ao raciocínio científico encontram-se descritos no quadro 6.28.

Quadro 6.28. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	14,9	10,19	2	38
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	18,7	8,87	3	38
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	9,1	7,68	0	26

Da análise do quadro 6.28 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer nos grupos experimentais).

Como à partida o grupo 1 e o grupo 3 eram provenientes de populações com classificações distintas ao nível do raciocínio científico, não é possível comparar estes dois grupos. No entanto, podemos verificar que, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores não significativos ($U=117,500$; $p=0,072$).

Relativamente aos grupos 2 e 3 que, à partida eram grupos estatisticamente semelhantes para o raciocínio científico realizou-se o mesmo teste obtendo-se valores significativos ($U=90,500$; $p=0,001$). Tendo-se obtido uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.29.

Quadro 6.29. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).

	Média pré-teste	Média pós-teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	4,4	14,9	-3,510	0,000
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	2,4	18,7	-4,017	0,000
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	1,5	9,1	-3,079	0,002

Para o grupo 1 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria na média, passando de 4,4 para 14,9. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-3,510$; $p=0,000$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 2,4 para 18,7. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-4,017$; $p=0,000$).

Para o grupo 3 (grupo de controlo) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 1,5 para 9,1. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,079$; $p=0,002$).

No quadro 6.30 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_1 na primeira parte do PI (formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias), relativo ao raciocínio científico.

Quadro 6.30. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio científico, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{1a}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente distintos ($U=107,000$; $p<0,05$)	Estatisticamente não distintos ($U=117,500$; $p>0,05$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,510$; $p<0,01$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-4,017$; $p<0,01$) Grupo 3 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-3,079$; $p<0,01$)
Grupo 2 (n_{1b}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=187,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=90,500$; $p<0,01$)	

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.30 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste. Quando se compara os grupos experimentais com o grupo de controlo é possível verificar que o grupo 1 (experimental) e o grupo 3 (controlo) antes da intervenção já eram distintos relativamente à distribuição da avaliação para o raciocínio científico. Após, o PI, os grupos passaram a ser semelhantes, isto é, passaram a ter a mesma distribuição da avaliação. Quanto aos grupos 2 e 3, eram grupos que no início do PI tinham a mesma distribuição da avaliação, para o raciocínio científico, mas após a intervenção passaram a ter uma diferente distribuição da avaliação, isto é, passaram a ser estatisticamente distintos. Assim, a avaliação do

raciocínio científico, no PI da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, foi estatisticamente significativa num dos grupos experimentais em relação ao grupo de controlo.

O gráfico da Fig.VI.6 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_1 relativo ao raciocínio científico no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

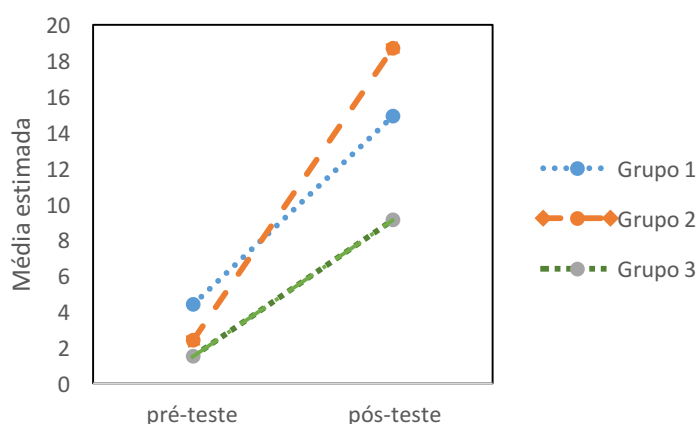


Fig. VI.6 Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio científico no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.

Da análise da Fig. VI.6 podemos corroborar que ambos os grupos subiram do pré para o pós-teste, no que diz respeito ao raciocínio científico. É possível verificar, também, que o ponto de partida do grupo 1 (experimental) já era diferente relativamente ao grupo 2 (também experimental) e grupo 3 (de controlo).

VI.3.1.1.3 Raciocínio histórico e interpretativo

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Previamente da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.31.

Quadro 6.31. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	14,7	10,07	0	36
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	13,3	7,63	0	24
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	14,1	6,28	0	24

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 56 pontos (100%), diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio histórico e interpretativo.

HK: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio histórico e interpretativo.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 1 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=173,500$; $p=0,881$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0. Assim, consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações no que diz respeito ao raciocínio interpretativo e histórico. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Realizou-se o mesmo procedimento para os grupos 2 e 3, partindo-se de hipótese similar:

H0: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio histórico e interpretativo.

HL: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio histórico e interpretativo.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 2 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=204,000$; $p=0,431$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) não são distintos

relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção, relativamente ao raciocínio histórico e interpretativo.

Por opção, considerou-se os grupos 1 e 2 como experimentais e o grupo 3 como grupo de controlo.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados obtidos, no pós-teste, por cada grupo relativo ao raciocínio histórico e interpretativo encontram-se descritos no quadro 6.32.

Quadro 6.32. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	27,9	10,83	8	48
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	30,8	11,87	8	48
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	15,8	11,06	0	40

Da análise do quadro 6.32 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer nos grupos experimentais).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 3, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=181,000$; $p=0,004$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos, sendo a média superior nos grupos experimentais.

Realizou-se o mesmo teste para os grupos 2 e 3 obtendo-se também valores significativos ($U=82,500$; $p=0,000$). Após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos.

É notório que grupos que inicialmente não tinham diferenças significativas, na avaliação, após a utilização de modelos para o ensino (que promovam o desenvolvimento do raciocínio histórico e interpretativo) houve melhorias cognitivas evidentes. Grupos estatisticamente semelhantes antes da intervenção tornaram-se

grupos diferentes após a intervenção. Apesar de se ter verificado melhorias em ambos os grupos, os maiores ganhos ocorreram nos grupos experimentais (grupo 1 e 2).

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.33.

Quadro 6.33. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).

	Média pré-teste	Média pós-teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	14,7	27,9	-2,856	0,004
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	12,9	30,6	-3,656	0,000
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	14,1	15,8	-0,358	0,720

Para o grupo 1 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria na média, passando de 14,7 para 27,9. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-2,856$; $p=0,004$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 12,9 para 30,6. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,656$; $p=0,000$).

Para o grupo 3 (grupo de controlo) não se verificou uma melhoria significativa na média, passando de 14,1 para 15,8. A diferença obtida revelou-se estatisticamente não significativa ($Z=-0,358$; $p=0,720$).

No quadro 6.34 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_1 no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, relativo ao raciocínio histórico e interpretativo.

Quadro 6.34. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio histórico e interpretativo, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{1a}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=173,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=181,000$; $p<0,01$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-2,856$; $p<0,01$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,656$; $p<0,01$) Grupo 3 – estatisticamente não significativo ($Z=-0,358$; $p>0,05$)
Grupo 2 (n_{1b}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=204,000$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=82,500$; $p<0,01$)	

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.34 podemos verificar que apenas os grupos experimentais melhoraram de resultado do pré para o pós-teste. Quando se compara os grupos experimentais com o grupo de controlo (grupo 3) é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente semelhantes, por outras palavras, tinham a mesma distribuição da avaliação, e após a intervenção do PI o grupo 1 (experimental) tornou-se estatisticamente distinto do grupo 3 (grupo de controlo). Isto é, obtiveram diferentes distribuições da avaliação. O mesmo sucedeu com o grupo 2 comparativamente com o grupo 3. Assim, a avaliação do raciocínio histórico e interpretativo, no PI da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, foi estatisticamente significativa nos grupos experimentais em relação ao grupo de controlo. Revelando um impacto positivo da intervenção.

O gráfico da Fig. VI.7 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_1 relativo ao raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

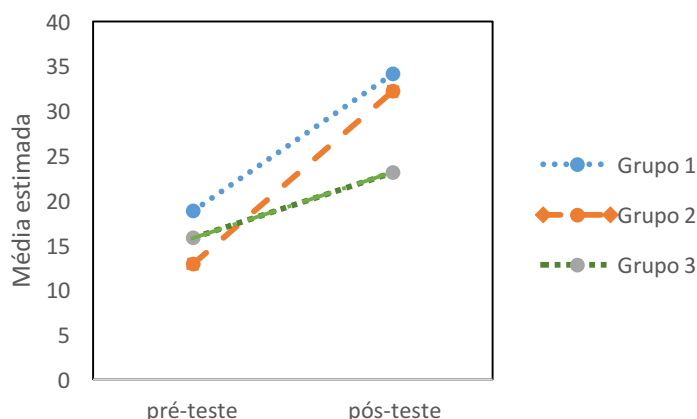


Fig. VI.7 Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.

Da análise da Fig. VI.7 podemos corroborar que houve uma subida, significativa, das médias do pré para o pós-teste dos grupos experimentais (grupo 1 e grupo 2) em relação ao grupo de controlo, no que diz respeito ao raciocínio histórico e por analogia.

VI.3.1.2 A modelação de falhas e dobras

VI.3.1.2.1 Raciocínio por analogia

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Previamente da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.35.

Quadro 6.35. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	18,8	9,90	2	38
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	12,9	12,24	0	48
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	15,8	9,61	0	32

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 62 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

HJ: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 1 e o grupo 3 obtiveram-se valores significativos ($U=152,500$; $p=0,444$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações no que diz respeito ao raciocínio por analogia. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação relativamente ao raciocínio por analogia antes da intervenção.

Realizou-se o mesmo procedimento para os grupos 2 e 3, partindo-se de hipótese similar:

H0: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

HK: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 2 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=170,000$; $p=0,203$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção, relativamente ao raciocínio por analogia.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados obtidos, no pós-teste, por cada grupo relativo ao raciocínio por analogia encontram-se descritos no quadro 6.36.

Quadro 6.36. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	34,1	11,86	18	60
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	32,2	17,45	6	62
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	23,1	11,13	2	39

Da análise do quadro 6.36 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer nos grupos experimentais).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 3, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=93,500$; $p=0,020$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos, *proof value* foi menor que 0,05, para um intervalo de confiança de 95%.

Realizou-se o mesmo teste para os grupos 2 e 3 obtendo-se valores não significativos ($U=170,000$; $p=0,203$). Após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente não significativa nestes dois grupos.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.37.

Quadro 6.37. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).

	Média pré-teste	Média pós-teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	18,8	34,1	-3,364	0,001
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	12,9	32,2	-3,288	0,001
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	15,8	23,1	-2,206	0,027

Para o grupo 1 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria na média, passando de 18,8 para 34,1. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-3,364$; $p=0,001$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 12,9 para 32,2. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,288$; $p=0,001$).

Para o grupo 3 (grupo de controlo) também se verificou uma melhoria significativa na média, passando de 15,8 para 23,0. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-2,206$; $p=0,027$).

No quadro 6.38 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_1 no PI sobre a formação de falhas e dobras, relativo ao raciocínio por analogia.

Quadro 6.38. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio por analogia, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_1=59$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{1a}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=152,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=93,500$; $p<0,05$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,364$; $p<0,01$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,288$; $p<0,01$) Grupo 3 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-2,206$; $p<0,05$)
Grupo 2 (n_{1b}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=107,000$; $p>0,05$)	Estatisticamente não distintos ($U=170,000$; $p>0,05$)	

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.38 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste. Quando se compara os grupos experimentais com o grupo de controlo é possível verificar que o grupo 1 (experimental) e o grupo 3 (controlo) antes

da intervenção eram estatisticamente não distintos relativamente à distribuição da avaliação para o raciocínio por analogia. Após, o PI, os grupos passaram a ser estatisticamente distintos, isto é, passaram a ter diferente distribuição da avaliação. Quanto aos grupos 2 e 3, eram grupos que no início do PI tinham a mesma distribuição da avaliação, para o raciocínio por analogia, mas após a intervenção continuaram a ter a mesma distribuição da avaliação, isto é, passaram a ser estatisticamente não distintos. Assim, a avaliação do raciocínio por analogia, no PI da formação de falhas e dobras, foi estatisticamente significativa num dos grupos experimentais em relação ao grupo de controlo revelando um impacto mais positivo da modelação relativamente ao ensino tradicional.

O gráfico da Fig. VI.8 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_1 relativo ao raciocínio por analogia no PI sobre a formação de falhas e dobras.

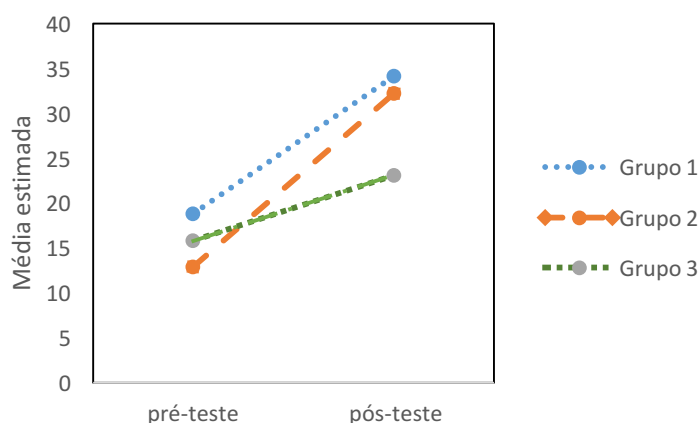


Fig. VI.8 Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio por analogia no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.

Da análise da Fig. VI.8 podemos corroborar que houve uma subida, significativa, das médias do pré para o pós-teste dos grupos quer experimentais (grupo 1 e grupo 2) quer de controlo, no que diz respeito ao raciocínio por analogia. Sendo, contudo, maior a diferença final entre o grupo 1 e o grupo 3 do que entre o grupo 2 e o grupo 3.

Ambas as metodologias de ensino foram bem sucedidas, embora com resultados superiores nos grupos sujeitos à modelação.

VI.3.1.2.2 Raciocínio científico

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Previamente da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.39.

Quadro 6.39. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	5,2	4,85	0	16
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	9,2	8,21	0	24
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	5,9	5,88	0	24

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 48 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio científico.

HL: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio científico.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 1 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=169,500$; $p=0,784$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são semelhantes relativamente às classificações no que diz respeito ao raciocínio científico. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Realizou-se o mesmo procedimento para os grupos 2 e 3, partindo-se de hipótese similar:

H0: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio científico.

HM: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio científico.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 2 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=176,000$; $p=0,253$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H_0 e consideramos que os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção, relativamente ao raciocínio científico.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados obtidos, no pós-teste, por cada grupo relativo ao raciocínio científico encontram-se descritos no quadro 6.40.

Quadro 6.40. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	26,2	10,19	16	48
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	18,7	15,15	0	48
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	16,0	11,10	0	44

Da análise do quadro 6.40 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer nos grupos experimentais) revelando impacto positivo das duas metodologias de ensino.

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 3, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=76,500$; $p=0,003$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos.

Comparando os grupos 2 e 3 que, no início da intervenção, eram grupos estatisticamente semelhantes continuaram, após a intervenção, sendo estatisticamente semelhantes pois utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores não significativos ($U=211,500$; $p=0,820$).

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.41.

Quadro 6.41. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).

	Média pré-teste	Média pós-teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	5,2	26,2	-3,630	0,000
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	9,2	18,7	-2,149	0,032
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	5,9	15,9	-3,441	0,001

Para o grupo 1 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria na média, passando de 5,2 para 26,2. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-3,630$; $p=0,000$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 9,2 para 18,7. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-2,149$; $p=0,032$).

Para o grupo 3 (grupo de controlo) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 5,9 para 15,9. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,441$; $p=0,001$).

No quadro 6.42 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_1 no PI sobre a formação de falhas e dobras, relativo ao raciocínio científico.

Quadro 6.42. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio científico, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_1=59$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{1a}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=169,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=76,500$; $p<0,05$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 99%IC ($Z=-3,630$; $p<0,01$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 95%IC ($Z=-2,149$; $p<0,05$) Grupo 3 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-3,441$; $p<0,01$)
Grupo 2 (n_{1b}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=176,000$; $p>0,05$)	Estatisticamente não distintos ($U=211,500$; $p>0,05$)	

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.42 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste. Quando se compara os grupos experimentais com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente semelhantes, por outras palavras, tinham a mesma distribuição da avaliação. Após a intervenção do PI o grupo 1 (experimental) tornou-se estatisticamente distinto do grupo 3 (grupo de controlo). Isto é, obtiveram diferentes distribuições da avaliação, sendo os valores mais elevados na média dos testes do grupo experimental sujeito à modelação. O mesmo não sucedeu com o grupo 2, que também era experimental, comparativamente com o grupo de controlo (grupo 3). Os grupos continuaram a ser estatisticamente diferentes após a intervenção.

O gráfico da Fig. VI.9 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_1 relativo ao raciocínio científico no PI sobre a formação falhas e dobras.

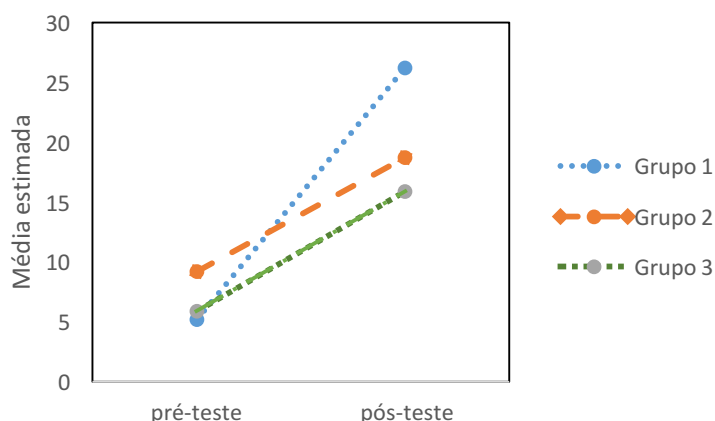


Fig. VI.9 Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio científico no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.

Da análise da Fig. VI.9 podemos corroborar que houve uma subida, significativa, das médias do pré para o pós-teste dos grupos experimentais (grupo 1 e grupo 2) em relação ao grupo de controlo, no que diz respeito ao raciocínio científico. Porém, as diferenças entre o grupo 1 e o grupo 3 foram mais acentuadas do que entre o grupo 2 e o grupo 3. Não obstante, a modelação contribui de forma mais acentuada que a metodologia tradicional.

VI.3.1.2.3 Raciocínio interpretativo e histórico

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Previamente da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.43.

Quadro 6.43. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	19,2	11,77	2	52
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	14,9	15,65	0	54
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	17,3	12,93	0	48

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 76 pontos, diferia entre grupos. Concebeu-se duas hipóteses:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio interpretativo e histórico.

HN: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio interpretativo e histórico.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 1 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=161,500$; $p=0,616$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações, no que diz respeito ao raciocínio interpretativo e histórico. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Realizou-se o mesmo procedimento para os grupos 2 e 3, partindo-se de hipótese similar:

H0: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio interpretativo e histórico.

HO: Os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio interpretativo e histórico.

Ao comparar os resultados obtidos entre o grupo 2 e o grupo 3 obtiveram-se valores não significativos ($U=181,500$; $p=0,325$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 2 e grupo 3) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção, relativamente ao raciocínio interpretativo e histórico.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados obtidos, no pós-teste, por cada grupo relativo ao raciocínio interpretativo e histórico encontram-se descritos no quadro 6.44.

Quadro 6.44. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_1=59$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	44,1	12,01	20	72
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	38,4	23,08	2	74
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	26,7	15,66	0	56

Da análise do quadro 6.44 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer nos grupos experimentais).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 3, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=67,000$; $p=0,001$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos.

Realizou-se o mesmo teste para os grupos 2 e 3 obtendo-se valores não significativos ($U=155,000$; $p=0,099$). Após a utilização de modelos para o ensino, não se obteve uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.45.

Quadro 6.45. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_1=59$).

	Média pré-teste	Média pós-teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	19,2	44,1	-3,625	0,000
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	14,9	38,4	-3,200	0,001
Grupo 3 ($n_{1c}=21$)	17,3	26,7	-2,424	0,015

Para o grupo 1 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria na média, passando de 19,2 para 44,1. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-3,625$; $p=0,000$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 14,9 para 38,4. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,200$; $p=0,001$).

Para o grupo 3 (grupo de controlo) também se verificou uma melhoria significativa na média, passando de 17,3 para 26,7. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-2,424$; $p=0,015$).

No quadro 6.46 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_1 no PI sobre a formação de falhas e dobras, relativo ao raciocínio histórico e interpretativo.

Quadro 6.46. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio histórico e interpretativo, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_1=59$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{1a}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=161,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=67,000$; $p<0,01$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,625$; $p<0,01$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,202$; $p<0,01$) Grupo 3 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-2,424$; $p<0,05$)
Grupo 2 (n_{1b}) e Grupo 3 (n_{1c})	Estatisticamente não distintos ($U=181,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente não distintos ($U=155,000$; $p>0,05$)	

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.46 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste. Quando se compara os grupos experimentais com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente semelhantes, por outras palavras, tinham a mesma distribuição da avaliação, e após a intervenção do PI o grupo 1 (experimental) tornou-se estatisticamente distinto do grupo

3 (grupo de controlo). Isto é, obtiveram diferentes distribuições da avaliação. O mesmo não sucedeu com o grupo 2, que também era experimental, comparativamente com o grupo de controlo (grupo 3). Estes dois grupos antes da intervenção tinham a mesma distribuição da avaliação e continuaram a ter depois do PI, isto é, continuaram a ser estatisticamente não distintos. Isto significa que a modelação, nestes dois grupos, não contribuiu de forma mais acentuada do que a metodologia tradicional.

O gráfico da Fig. VI.10 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_1 relativo ao raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de falhas e dobras.

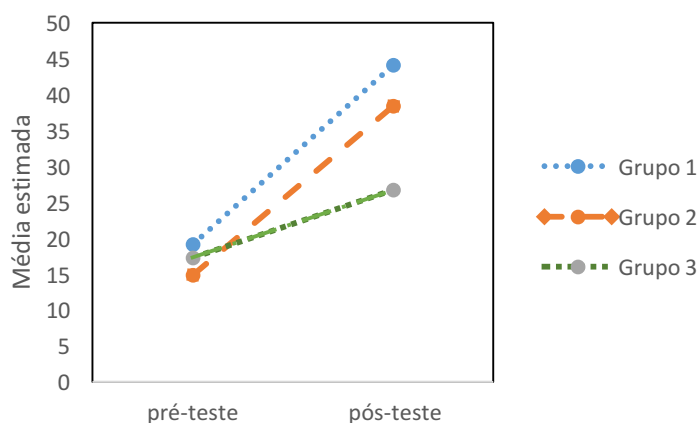


Fig. VI.10. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_1=59$), sendo os grupos 1 e 2 experimentais e o grupo 3 de controlo.

Da análise da Fig. VI.10 podemos constatar que houve uma subida, significativa, das médias do pré para o pós-teste dos grupos experimentais (grupo 1 e grupo 2) em relação ao grupo de controlo, no que diz respeito ao raciocínio histórico e interpretativo.

VI.3.2 Estudo quasi-experimental com o professor-colaborador

Principia-se com a apresentação dos dados obtidos pela professora-investigadora relativos ao PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias. Posteriormente, são apresentados os dados obtidos no estudo quasi-experimental relativos ao PI sobre a formação de dobras e falhas.

VI.3.2.1 A modelação dos Himalaias

VI.3.2.1.1 Raciocínio por analogia

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Antes da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.47.

Quadro 6.47. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	8,4	8,26	0	28
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	6,0	7,32	0	26

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 44 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

HP: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

Ao comparar os resultados conseguidos entre o grupo 1 e o grupo 2, aplicando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores não significativos ($U=210,000$; $p=0,322$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H_0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados, nas questões que avaliavam o raciocínio por analogia, obtidos por cada grupo relativo ao pós-teste encontram-se descritos no quadro 6.38.

Quadro 6.48. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	15,3	13,26	0	44
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	26,2	5,53	8	44

Da análise dos quadros 6.47 e 6.48 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer no grupo experimental).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 2, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=127,500$; $p=0,005$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos, relativamente ao raciocínio por analogia.

Grupos estatisticamente semelhantes tornaram-se distintos após a intervenção, sendo os maiores ganhos verificados no grupo experimental (grupo 2), o que aponta para uma melhoria mais acentuada com a modelação do que com a metodologia tradicional.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.49.

Quadro 6.49. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).

	Média pré-teste	Média pós- teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	8,4	15,3	-2,245	0,025
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	6,0	26,2	-2,296	0,022

Para o grupo 1 (grupo controlo) verificou-se uma melhoria na média, passando de 8,4 para 15,3. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-2,245$; $p=0,025$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 6,0 para 26,2. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-2,296$ $p=0,022$).

No quadro 6.50 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_2 no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, relativo ao raciocínio por analogia.

Quadro 6.50. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio por analogia, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{2c}) e Grupo 2 (n_{2a})	Estatisticamente não distintos ($U=210,000$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=127,500$; $p<0,01$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-2,245$; $p<0,05$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-2,296$; $p<0,05$)

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.50 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste. Quando se compara o grupo experimental com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente semelhantes, por outras palavras, tinham a mesma distribuição da avaliação, e após a

intervenção do PI o grupo 1 (controlo) tornou-se estatisticamente distinto do grupo 2 (grupo experimental). Isto é, obtiveram diferentes distribuições da avaliação. Assim, a avaliação do raciocínio por analogia, no PI da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, foi estatisticamente significativa no grupo experimental em relação ao grupo de controlo, revelando um impacto positivo da modelação.

O gráfico da Fig. VI.11 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_2 relativo ao raciocínio por analogia no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

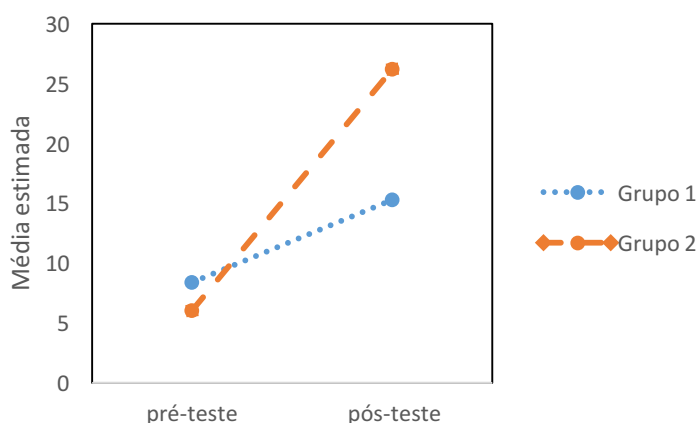


Fig. VI.11. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio por analogia no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.

Da análise da Fig. VI.11 podemos constatar que houve uma subida, significativa, das médias do pré para o pós-teste do grupo experimental (grupo 2) em relação ao grupo de controlo (grupo 1), no que diz respeito ao raciocínio por analogia.

VI.3.2.1.2 Raciocínio científico

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Antes da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.51.

Quadro 6.51. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	1,3	2,54	0	8
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	2,9	3,44	0	16

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 48 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio científico.

HQ: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio científico.

Ao comparar os resultados conseguidos entre o grupo 1 e o grupo 2, aplicando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=137,000$; $p=0,005$). Pelo que, concluímos pela rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm diferente distribuição da avaliação antes da intervenção.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados, nas questões que avaliavam o raciocínio científico, obtidos por cada grupo relativo ao pós-teste encontram-se descritos no quadro 6.52.

Quadro 6.52. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	3,6	5,97	0	26
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	8,1	5,36	0	21

Da análise do quadro 6.52 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer no grupo experimental).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 2, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=104,000$; $p=0,001$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos, relativamente ao raciocínio científico. Grupos estatisticamente diferentes continuaram distintos após a intervenção, sendo os maiores ganhos verificados no grupo experimental (grupo 2), valorizando-se o ensino baseado em modelos.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.53.

Quadro 6.53. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).

	Média pré-teste	Média pós- teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	1,3	3,6	-2,045	0,041
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	2,9	8,1	-3,479	0,001

Para o grupo 1 (grupo controlo) verificou-se uma melhoria na média, passando de 1,25 para 3,6. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-2,045$; $p=0,041$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 2,9 para 8,1. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,479$ $p=0,001$).

No quadro 6.54 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_2 no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, relativo ao raciocínio científico.

Quadro 6.54. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio científico, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{2c}) e Grupo 2 (n_{2a})	Estatisticamente distintos ($U=137,000$; $p<0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=104,000$; $p<0,01$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-2,045$; $p<0,05$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,479$; $p<0,01$)

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.54 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste. Quando se compara o grupo experimental com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente distintos, por outras palavras, tinham diferente distribuição da avaliação, e após a intervenção do PI o grupo 1 (controlo) e o grupo 2 (grupo experimental) continuaram distintos. Isto é, obtiveram diferentes distribuições da avaliação.

O gráfico da Fig. VI.12 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_2 relativo ao raciocínio científico no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

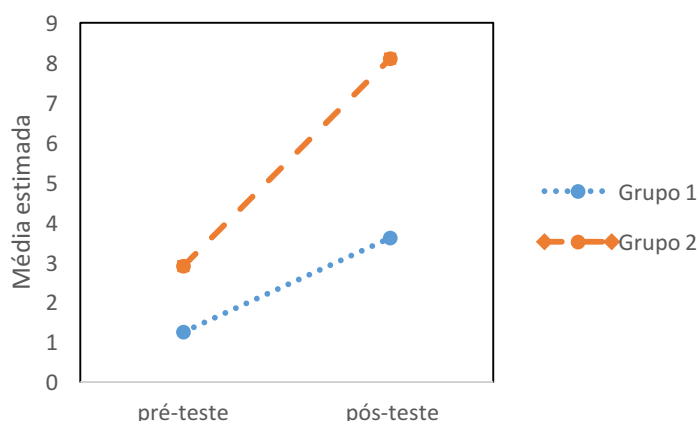


Fig. VI.12. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio científico no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.

Da análise da Fig. VI.12 podemos corroborar que houve uma subida, significativa, das médias do pré para o pós-teste do grupo experimental (grupo 2) em relação ao grupo de controlo, no que diz respeito ao raciocínio científico. Neste caso ambas as metodologias tiveram igual impacto significativo.

VI.3.2.1.3 Raciocínio interpretativo e histórico

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Antes da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.55.

Quadro 6.55. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	8,1	5,79	0	16
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	6,5	6,98	0	24

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 56 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio interpretativo e histórico.

HR: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio interpretativo e histórico.

Ao comparar os resultados conseguidos entre o grupo 1 e o grupo 2, aplicando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores não significativos ($U=206,000$; $p=0,265$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados, nas questões que avaliavam o raciocínio interpretativo e histórico, obtidos por cada grupo relativo ao pós-teste encontram-se descritos no quadro 6.56.

Quadro 6.56. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	9,3	11,23	0	40
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	19,9	11,64	0	44

Da análise do quadro 6.56 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer no grupo experimental).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 2, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=125,000$; $p=0,003$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos, relativamente ao raciocínio interpretativo e histórico. Facto que revela impacto positivo no sucesso dos alunos com ambas as metodologias de ensino aplicadas.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.57.

Quadro 6.57. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).

	Média pré-teste	Média pós- teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	8,1	9,3	-0,469	0,639
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	6,5	19,9	-3,642	0,000

Para o grupo 1 (grupo controlo) verificou-se uma melhoria na média, passando de 8,08 para 9,3. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente não significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-0,469$; $p=0,639$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 6,48 para 19,9. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,642$ $p=0,000$).

No quadro 6.58 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_2 no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, relativo ao raciocínio histórico e interpretativo.

Quadro 6.58. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio histórico e interpretativo, utilizando o modelo da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{2c}) e Grupo 2 (n_{2a})	Estatisticamente não distintos ($U=206,000$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=125,000$; $p<0,01$)	Grupo 1 – estatisticamente não significativo ($Z=-0,469$; $p>0,05$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,642$; $p<0,01$)

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.58 podemos verificar que apenas o grupo experimental melhorou do pré para o pós-teste. Quando se compara o grupo experimental com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente distintos, por outras palavras, tinham diferente distribuição da avaliação, mas após a intervenção do PI o grupo 1 (controlo) e o grupo 2 (grupo experimental) tornaram-se estatisticamente distintos, isto é, obtiveram diferentes distribuições da avaliação. Assim, a avaliação do raciocínio histórico e interpretativo, no PI da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, foi estatisticamente significativa no grupo experimental revelando o sucesso da modelação.

O gráfico da Fig. VI.13 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_2 relativo ao raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

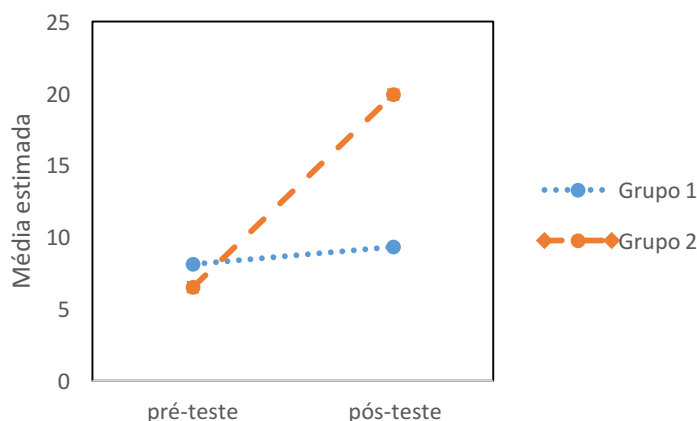


Fig. VI.13. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.

Da análise do gráfico da Fig. VI.13 podemos corroborar que houve uma subida, significativa, das médias do pré para o pós-teste no grupo experimental (grupo 2) ao contrário do que aconteceu no grupo de controlo, no que diz respeito ao raciocínio histórico e interpretativo.

VI.3.2.2 A modelação de falhas e dobras

VI.3.2.2.1 Raciocínio por analogia

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Antes da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.59.

Quadro 6.59. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	5,2	8,28	0	32
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	6,6	7,19	0	24

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 62 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

HS: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio por analogia.

Ao comparar os resultados conseguidos entre o grupo 1 e o grupo 2, aplicando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=198,000$; $p=0,204$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados, nas questões que avaliavam o raciocínio por analogia, obtidos por cada grupo relativo ao pós-teste encontram-se descritos no quadro 6.60.

Quadro 6.60. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	12,6	9,95	1	36
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	16,3	8,62	0	39

Da análise do quadro 6.60 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer no grupo experimental).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 2, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=188,000$; $p=0,144$).

Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, não se obteve uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos relativamente ao raciocínio por analogia.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.61.

Quadro 6.61. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).

	Média pré-teste	Média pós- teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	5,2	12,6	-2,541	0,011
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	6,6	16,3	-3,776	0,000

Para o grupo 1 (grupo controlo) verificou-se uma melhoria na média, passando de 5,2 para 12,6. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-2,541$; $p=0,011$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 6,6 para 16,29. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,776$ $p=0,000$).

Ambas as metodologias sortiram efeito positivo.

No quadro 6.62 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_2 no PI sobre a formação de falhas e dobras, relativo ao raciocínio por analogia.

Quadro 6.62. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio por analogia, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_2=45$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{2c}) e Grupo 2 (n_{2a})	Estatisticamente não distintos ($U=198,000$; $p>0,05$)	Estatisticamente não distintos ($U=188,000$; $p>0,05$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-2,541$; $p<0,05$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,776$; $p<0,01$)

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.62 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste. Quando se compara o grupo experimental com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente não distintos, por outras palavras, tinham a mesma distribuição da avaliação, e após a intervenção do PI o grupo 1 (controlo) e o grupo 2 (grupo experimental) continuaram com a mesma distribuição da avaliação para o raciocínio por analogia, pelo que não se tornaram estatisticamente distintos. Assim, a avaliação do raciocínio por analogia, no PI da formação de falhas e dobras, não foi estatisticamente significativa no grupo experimental. Contudo, em cada um dos grupos a melhoria foi significativa do pré para o pós-teste, revelando impacto positivo de ambas as metodologias de ensino.

O gráfico da Fig. VI.14 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_2 relativo ao raciocínio por analogia no PI sobre a formação de falhas e dobras.

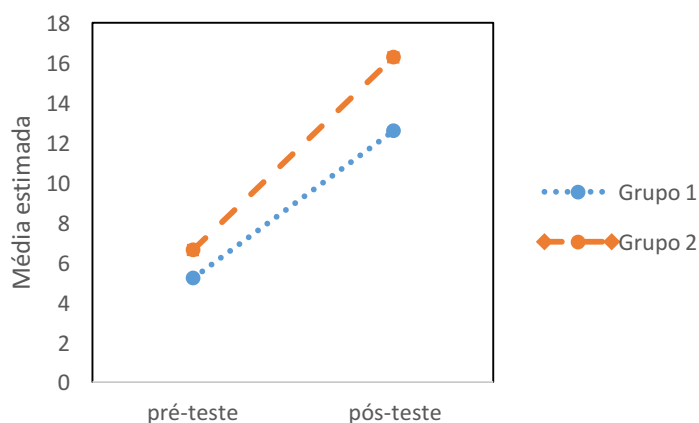


Fig. VI.14. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio por analogia no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.

Da análise da Fig. VI.14 podemos constatar que houve uma subida das médias do pré para o pós-teste em ambos os grupos, tendo sido um pouco superior no grupo experimental (grupo 2) no que diz respeito ao raciocínio por analogia, o que favorece um pouco o ensino baseado em modelos relativamente ao ensino tradicional.

VI.3.2.2.2 Raciocínio científico

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Antes da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.63.

Quadro 6.63. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	1,2	4,17	0	20
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	3,6	4,18	0	20

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 48 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio científico.

HT: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio científico.

Ao comparar os resultados conseguidos entre o grupo 1 e o grupo 2, aplicando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=200,000$; $p=0,103$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm a mesma distribuição da avaliação antes da intervenção.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados, nas questões que avaliavam o raciocínio científico, obtidos por cada grupo relativo ao pós-teste encontram-se descritos no quadro 6.64.

Quadro 6.64. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	3,6	4,18	0	20
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	7,9	5,38	0	22

Da análise do quadro 6.64 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer no grupo experimental).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 2, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=110,000$; $p=0,001$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos relativamente ao raciocínio científico. Grupos estatisticamente diferentes antes da intervenção tornaram-se distintos, após a intervenção.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.65.

Quadro 6.65. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).

	Média pré-teste	Média pós- teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	1,2	3,6	-3,270	0,001
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	3,6	7,9	-3,564	0,000

Para o grupo 1 (grupo controlo) verificou-se uma melhoria na média, passando de 1,2 para 3,6. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-3,270$; $p=0,001$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 3,6 para 7,9. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,564$ $p=0,000$).

Ambas as metodologias surtiram efeito positivo.

No quadro 6.66 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra N_1 no PI sobre a formação de falhas e dobras, relativo ao raciocínio científico.

Quadro 6.66. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio científico, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_2=45$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{2c}) e Grupo 2 (n_{2a})	Estatisticamente não distintos ($U=200,000$; $p>0,05$)	Estatisticamente distintos ($U=110,000$; $p<0,01$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,270$; $p<0,01$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,564$; $p<0,01$)

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.66 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste. Quando se compara o grupo experimental com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente não distintos, por outras palavras, tinham a mesma distribuição da avaliação, e após a intervenção do PI o grupo 1 (controlo) e o grupo 2 (grupo experimental) tiveram diferente distribuição da avaliação para o raciocínio científico, pelo que se tornaram estatisticamente distintos.

O gráfico da Fig. VI.15 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_2 relativo ao raciocínio científico no PI sobre a formação de falhas e dobras.

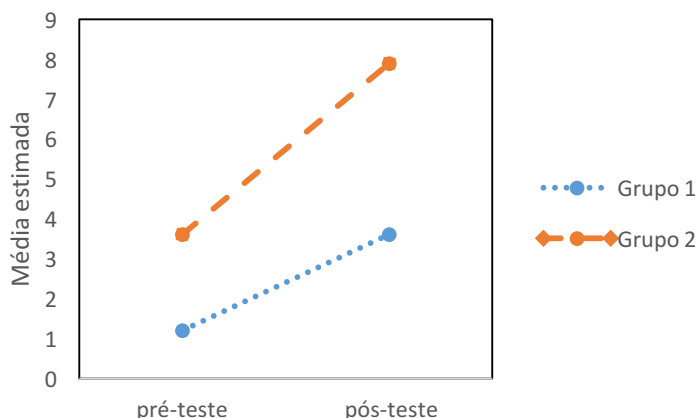


Fig. VI.15. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio científico no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.

Da análise da Fig. VI.15 podemos corroborar que houve uma subida, significativa, das médias do pré para o pós-teste em ambos os grupos, no que diz respeito ao raciocínio científico. Realça-se porém, que à partida os grupos já eram distintos e que as metodologias foram eficientes.

VI.3.2.2.3 Raciocínio interpretativo e histórico

Antes de se principiar o estudo, foi feita uma avaliação inicial da amostra, utilizando o Teste de Mann-Whitney para amostras independentes. Antes da realização do teste não paramétrico realizou-se a determinação de valores de estatística descritiva através do cálculo da média, desvio padrão, mínimo e máximo.

Os resultados do estado inicial da amostra encontram-se descritos no quadro 6.67.

Quadro 6.67. Valores de estatística descritiva no estado inicial da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	7,2	11,14	0	48
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	4,8	6,21	0	18

Pretendia-se verificar se o sucesso escolar dos alunos, medido numa escala de 76 pontos, diferia entre grupos através da seguinte hipótese:

H0: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de uma população com a mesma distribuição da avaliação no raciocínio interpretativo e histórico.

HU: Os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) são provenientes de populações com diferente distribuição da avaliação no raciocínio interpretativo e histórico.

Ao comparar os resultados conseguidos entre o grupo 1 e o grupo 2 (experimental), aplicando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores significativos ($U=243,500$; $p=0,838$). Pelo que, concluímos pela não rejeição de H0 e consideramos que os dois grupos (grupo 1 e grupo 2) não são distintos relativamente às classificações. Por outras palavras, os grupos têm avaliações semelhantes antes da intervenção.

Após o programa de intervenção, foi aplicado novamente o teste cognitivo (pós-teste). Os resultados, nas questões que avaliavam o raciocínio interpretativo e histórico, obtidos por cada grupo relativo ao pós-teste encontram-se descritos no quadro 6.68.

Quadro 6.68. Valores de estatística descritiva no estado final da amostra ($n_2=45$).

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	12,7	12,05	0	48
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	12,1	10,15	0	42

Da análise do quadro 6.68 constatou-se que a média no pós-teste foi superior em ambos os grupos (quer no grupo de controlo quer no grupo experimental).

Ao comparar os resultados adquiridos entre o grupo 1 e o grupo 2, utilizando o Teste de Mann-Whitney, obtiveram-se valores não significativos ($U=241,500$; $p=0,810$). Assim, verificou-se que após a utilização de modelos para o ensino, não se obteve uma diferença estatisticamente significativa nestes dois grupos, relativamente ao raciocínio interpretativo e histórico.

Para verificar se a diferença de médias entre os pré e pós-testes de cada um dos grupos era estatisticamente significativa recorreu-se ao Teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas. Os dados encontram-se referenciados no quadro 6.69.

Quadro 6.69. Valores entre o pré e o pós-teste utilizando o Teste de Wilcoxon ($n_2=45$).

	Média pré-teste	Média pós- teste	Wilcoxon Z	Significância (p)
Grupo 1 ($n_{2c}=24$)	7,2	12,7	-2,092	0,036
Grupo 2 ($n_{2a}=21$)	4,8	12,1	-3,012	0,003

Para o grupo 1 (grupo controlo) verificou-se uma melhoria na média, passando de 7,2 para 12,7. A diferença obtida revelou-se ser estatisticamente significativa, dado que os valores do teste estatístico assim o revelaram ($Z=-2,092$; $p=0,036$).

Para o grupo 2 (grupo experimental) verificou-se uma melhoria significativa na média, passando de 4,8 para 12,1. A diferença obtida revelou-se estatisticamente significativa ($Z=-3,012$ $p=0,003$).

Ambas as metodologias surtiram efeito positivo.

No quadro 6.70 encontra-se resumido a análise dos resultados obtidos antes e após a intervenção para a amostra n_2 na parte do PI relativo à formação de falhas e dobras, relativo ao raciocínio histórico e interpretativo.

Quadro 6.70. Resumo da análise dos resultados obtidos relativos ao raciocínio histórico e interpretativo, utilizando o modelo da formação de falhas e dobras ($n_2=45$).

Grupos	Antes da intervenção	Após a intervenção	Diferenças entre o pré e pós-teste
Grupo 1 (n_{2c}) e Grupo 2 (n_{2a})	Estatisticamente não distintos ($U=243,500$; $p>0,05$)	Estatisticamente não distintos ($U=241,500$; $p>0,05$)	Grupo 1 – estatisticamente significativo para 95% IC ($Z=-2,092$; $p<0,05$) Grupo 2 – estatisticamente significativo para 99% IC ($Z=-3,012$; $p<0,01$)

IC – Intervalo de Confiança.

Da análise do quadro 6.70 podemos verificar que ambos os grupos melhoraram do pré para o pós-teste. Quando se compara o grupo experimental com o grupo de controlo é possível verificar que os grupos antes da intervenção eram estatisticamente não distintos, por outras palavras, tinham a mesma distribuição da avaliação. Após a

intervenção o grupo 1 (controlo) e o grupo 2 (grupo experimental) continuaram com a mesma distribuição da avaliação para o raciocínio histórico e interpretativo, pelo que não se tornaram estatisticamente distintos. Assim, a avaliação do raciocínio histórico e interpretativo, no PI da formação de falhas e dobras, não foi estatisticamente significativa no grupo experimental em relação ao grupo de controlo. Ambos os grupos obtiveram melhorias revelando o impacto positivo das duas metodologias de ensino.

O gráfico da Fig. VI.16 ilustra a evolução das médias do pré para o pós-teste na amostra n_2 relativo ao raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de falhas e dobras.

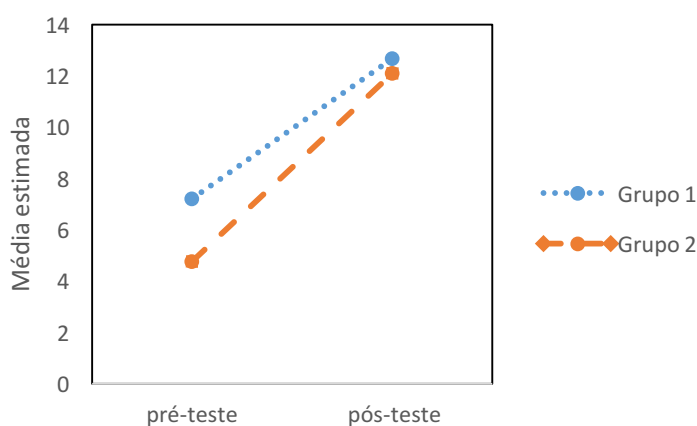


Fig. VI.16. Efeito interativo relativo às médias obtidas no raciocínio histórico e interpretativo no PI sobre a formação de falhas e dobras ($n_2=45$), sendo o grupo 2 experimental e o grupo 1 de controlo.

Da análise da Fig. VI.16 podemos corroborar que houve uma subida das médias do pré para o pós-teste em ambos os grupos, no que diz respeito ao raciocínio histórico e interpretativo. Não obstante, o grupo experimental (grupo2), com o ensino baseado na modelação teve uma subida de médias no teste substancialmente maior.

VI.4 Análise dos V de Gowin

No presente estudo, os grupos experimentais preencheram um V epistemológico de Gowin, numa folha A3, na aula após a realização do trabalho prático com recurso aos modelos da simulação da formação das cadeias montanhosas, como os Himalaias, e da simulação de formação de dobras e falhas.

Devido ao facto de os alunos nunca terem realizado um V epistemológico de Gowin, a professora forneceu o V epistemológico de Gowin relativo à formação das cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias semipreenchido. A professora dispunha de outro totalmente preenchido (V de Gowin de referência, como já referido) que permitia orientar os alunos no preenchimento do seu V epistemológico de Gowin.

Os Vês de Gowin dos alunos foram preenchidos numa folha A3 que fazia parte de um relatório constituído por uma capa (onde deveria constar dados como a escola, a disciplina, o título, o autor e a data) e as fontes bibliográficas consultadas.

VI.4.1 Professora-investigadora

Esta secção inicia-se com a apresentação dos dados obtidos pela professora-investigadora e relativos ao PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias. Posteriormente, é apresentado um estudo semelhante, mas relativo ao PI sobre a formação de dobras e falhas.

VI.4.1.1 A modelação dos Himalaias

Através da avaliação dos V de Gowin foi possível verificar que os alunos da amostra tiveram classificações satisfatórias. No quadro 6.71 encontram-se as classes de distribuição quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin.

Quadro 6.71. Classes de distribuição das menções quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin relativos à modelação da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_1=38$).

	0-19	20-49	50-69	70-89	90-100
	Fraco	Insuficiente ($n=3$)	Suficiente ($n=21$).	Bom ($n=14$).	Muito Bom
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	0	1	12	4	0
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	0	2	9	10	0

O quadro 6.71 indica que 55,26% dos alunos apresentaram classificações suficientes, isto é, superior a 50 pontos e inferiores a 69 pontos (num total de 100 pontos). No universo de 38 alunos, três alunos (7,89%) obtiveram classificações insuficientes, menores do que 50 pontos e maiores do que 19 pontos.

VI.4.1.2 A modelação de falhas e dobras

Através da avaliação dos V de Gowin foi possível verificar que os alunos da amostra tiveram classificações muito satisfatórias. No quadro 6.72 encontram-se as classes de distribuição quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin.

Quadro 6.72. Classes de distribuição das menções quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin relativos à modelação da formação de falhas e dobras ($n_1=38$).

	0-19	20-49	50-69	70-89	90-100
	Fraco	Insuficiente ($n=2$)	Suficiente ($n=8$).	Bom ($n=28$).	Muito Bom
Grupo 1 ($n_{1a}=17$)	0	0	3	14	0
Grupo 2 ($n_{1b}=21$)	0	2	5	14	0

O quadro 6.72 indica que 73,68% dos alunos apresentaram classificações de bom, isto é, superior a 70 pontos e inferiores a 89 pontos (num total de 100 pontos). Apenas 5,26% dos alunos obtiveram classificações insuficientes, menores do que 50 pontos e maiores do que 19 pontos, o que equivale a dois alunos na amostra de 38.

VI.4.2 Professor-colaborador

Esta secção inicia-se com a apresentação dos dados obtidos pelo professor-colaborador e relativos ao PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias. Posteriormente, é apresentado um estudo semelhante, mas relativo ao PI sobre a formação de dobras e falhas.

VI.4.2.1 A modelação dos Himalaias

Através da avaliação dos V de Gowin foi possível verificar que os alunos da amostra tiveram classificações satisfatórias. No quadro 6.73 encontram-se as classes de distribuição quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin.

Quadro 6.73. Classes de distribuição das menções quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin relativos à modelação da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias ($n_2=21$).

	0-19	20-49	50-69	70-89	90-100
	Fraco	Insuficiente ($n=3$)	Suficiente ($n=8$).	Bom ($n=10$).	Muito Bom
Grupo 2 ($n_{2b}=21$)	0	3	8	10	0

O quadro 6.73 indica que 47,62% dos alunos apresentaram classificações de bom, isto é, superior a 70 pontos e inferiores a 89 pontos (num total de 100 pontos). No entanto, 14,29% dos alunos obtiveram classificações insuficientes, menores do que 50 pontos e maiores do que 19 pontos, sendo um número razoável de alunos que não compreendeu a dinâmica do V de Gowin (como se processa e para que serve). Tal facto revela pouca aprendizagem de processos científicos.

VI.4.2.2 A modelação de falhas e dobras

Através da avaliação dos V de Gowin foi possível verificar que os alunos da amostra tiveram classificações muito satisfatórias. No quadro 6.74 encontram-se as classes de distribuição quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin.

Quadro 6.74. Classes de distribuição das menções quantitativas e qualitativas obtidas nos relatórios de V de Gowin relativos à modelação da formação de falhas e dobras ($n_2=21$).

	0-19	20-49	50-69	70-89	90-100
	Fraco	Insuficiente	Suficiente ($n=5$).	Bom ($n=16$).	Muito Bom
Grupo 2 ($n_{2b}=21$)	0	0	5	16	0

O quadro 6.74 indica que 76,2% dos alunos apresentaram classificações de bom, isto é, superior a 70 pontos e inferiores a 89 pontos (num total de 100 pontos). Apenas 23,8% dos alunos obtiveram classificações suficientes, menores do que 69 pontos e maiores do que 50 pontos.

Da análise comparativa dos quadros 6.73 e 6.74 verificou-se uma subida significativa nas classificações do primeiro V de Gowin, referente à modelação dos Himalaias para o segundo V de Gowin relativo à modelação de falhas e dobras.

VI.5 Análise dos questionários

No final de ambas as partes do PI os alunos responderam a um questionário (Apêndice XXI) sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias e sobre as falhas e dobras.

Foi feita uma estatística descritiva às respostas, referindo o número total de verdadeiros e falsos obtidos em cada questão e em cada grupo experimental para posterior cálculo da média de percentagem de respostas em cada item.

Os resultados obtidos encontram-se descritos por PI, isto é, primeiro encontram-se os resultados relativos à formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias e posteriormente ao PI sobre a formação de falhas e dobras.

Os resultados obtidos na amostra dos grupos experimentais da professora-investigadora e do grupo experimental do professor-colaborador para o PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, foram semelhantes.

VI.5.1 Professora-investigadora

Esta secção inicia-se com a apresentação dos dados obtidos nos questionários na amostra da professora-investigadora e relativos à parte do PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias. Posteriormente, é apresentado um estudo semelhante, mas relativo à parte do PI sobre a formação de dobras e falhas.

VI.5.1.1 A modelação dos Himalaias

Os resultados obtidos nos questionários encontram-se expressos no quadro 6.75.

Quadro 6.75. Valores de estatística descritiva obtidos no questionário passado aos alunos na parte do PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Grupos experimentais da professora-investigadora ($n_1=38$)						
	Verdadeiro			Falso		
	GE1 ($n_{1a}=17$)	GE2 ($n_{1b}=21$)	total	GE1 ($n_{1a}=17$)	GE2 ($n_{1b}=21$)	total
Auxiliou o trabalho colaborativo	17	21	38	0	0	0
Ajudou a compreender a metodologia científica	17	20	37	0	1	1
Permitiu compreender o raciocínio por analogia que os geólogos utilizam	14	19	33	3	2	5
Permitiu compreender o raciocínio interpretativo que os geólogos utilizam	16	18	34	1	3	4
Ajudou a formular explicações para fenómenos geológicos	15	20	35	2	1	3
Dificultou a aprendizagem	1	3	4	16	18	34

Na amostra da professora-investigadora foi opinião unanime que a utilização do modelo para o ensino utilizado no referido PI melhorou o trabalho de equipa e apenas 10,52% da amostra considerou que dificultou a aprendizagem.

Ambos os grupos experimentais da amostra do estudo realizado pela professora-investigadora responderam de forma muito positiva. A utilização de modelos em sala de aula ajudou a compreender a metodologia científica; permitiu conhecer o raciocínio por analogia e interpretativo que os geólogos utilizam, bem como ajudou a formular explicações para fenómenos geológicos. Estas opiniões foram corroboradas pelos resultados obtidos nos testes bem como nos Vês de Gowin.

Da análise dos resultados foi possível inferir que os alunos compreenderam as potencialidades da modelação no ensino, em particular da geologia.

VI.5.1.2 A modelação de falhas e dobras

Relativamente à parte do PI sobre a formação de falhas e dobras, houve algumas alterações, comparativamente com a parte do PI da formação dos Himalaias, ao nível das respostas dadas nos questionários.

As respostas dadas pelos alunos encontram-se nos quadros 6.76.

Quadro 6.76. Valores de estatística descritiva obtidos no questionário passado aos alunos na parte do PI sobre a formação de falhas e dobras.

Grupos experimentais da professora-investigadora (n ₁ =38)						
	Verdadeiro			Falso		
	GE1 (n _{1a} =17)	GE2 (n _{1b} =21)	total	GE1 (n _{1a} =17)	GE2 (n _{1b} =21)	total
Auxiliou o trabalho colaborativo	17	21	38	0	0	0
Ajudou a compreender a metodologia científica	17	21	38	0	0	0
Permitiu compreender o raciocínio por analogia que os geólogos utilizam	17	21	38	0	0	0
Permitiu compreender o raciocínio interpretativo que os geólogos utilizam	16	21	37	1	0	0
Ajudou a formular explicações para fenómenos geológicos	17	19	36	0	2	2
Dificultou a aprendizagem	0	0	0	17	21	38

Na amostra da professora-investigadora foi opinião unanime que a utilização do modelo para o ensino utilizado na simulação de dobras e falhas melhorou o trabalho de equipa, ajudou a compreender a metodologia utilizada bem como permitiu compreender o raciocínio por analogia.

VI.5.2 Professor-colaborador

Esta secção inicia-se com a apresentação dos dados obtidos pelo professor-colaborador e relativos à parte do PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias. Posteriormente, é apresentado um estudo semelhante, mas relativo ao PI sobre a formação de falhas e dobras.

VI.5.2.1 A modelação dos Himalaias

No quadro seguinte encontra-se a estatística descritiva relativa à opinião dos alunos da amostra do professor-colaborador sobre o PI da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Quadro 6.77. Valores de estatística descritiva obtidos no questionário passado aos alunos na parte do PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Grupo experimental do professor-colaborador ($n_2=21$)		
	Verdadeiro	Falso
	GE2 ($n_{2b}=21$)	
Auxiliou o trabalho colaborativo	21	0
Ajudou a compreender a metodologia científica	19	2
Permitiu compreender o raciocínio por analogia que os geólogos utilizam	20	1
Permitiu compreender o raciocínio interpretativo que os geólogos utilizam	19	2
Ajudou a formular explicações para fenómenos geológicos	18	3
Dificultou a aprendizagem	1	20

Na amostra do professor-colaborador foi opinião unanime que a utilização do modelo para o ensino utilizado no referido PI melhorou o trabalho de equipa e apenas 4,76% da amostra considerou que dificultou a aprendizagem.

O grupo experimental da amostra do estudo realizado pelo professor-colaborador respondeu de forma muito positiva. A utilização de modelos em sala de aula ajudou a compreender a metodologia científica; permitiu conhecer o raciocínio por analogia e interpretativo que os geólogos utilizam, bem como ajudou a formular explicações para fenómenos geológicos. Estas opiniões foram corroboradas pelos resultados obtidos nos testes bem como nos Vês de Gowin.

VI.5.2.2 A modelação de falhas e dobras

No quadro seguinte encontra-se a estatística descritiva relativa à opinião dos alunos da amostra do professor-colaborador sobre a parte do PI da formação de falhas e dobras.

Quadro 6.78. Valores de estatística descritiva obtidos no questionário passado aos alunos na parte do PI sobre a formação de falhas e dobras.

Grupo experimental do professor-colaborador ($n_2=21$)		
	Verdadeiro	Falso
	GE2 ($n_{2b}=21$)	
Auxiliou o trabalho colaborativo	21	0
Ajudou a compreender a metodologia científica	21	0
Permitiu compreender o raciocínio por analogia que os geólogos utilizam	21	0
Permitiu compreender o raciocínio interpretativo que os geólogos utilizam	20	1
Ajudou a formular explicações para fenómenos geológicos	20	1
Dificultou a aprendizagem	1	20

Ao comparar os dois quadros anteriores, verificou-se que foi opinião unânime quer na amostra dos grupos experimentais da professora-investigadora quer na amostra do grupo experimental do professor-colaborador, que a metodologia de ensino baseada em modelos ajudou a melhorar o trabalho em equipa, a compreender a metodologia científica e permitiu conhecer o raciocínio por analogia que os geólogos utilizam.

É de realçar que todos os alunos da amostra dos grupos experimentais da professora-investigadora referiram que a metodologia utilizada no referido PI facilitou a aprendizagem. Note-se que apenas um aluno da amostra do grupo experimental do professor-colaborador referiu o oposto.

Os dados obtidos pelos questionários feitos aos alunos não foram apoiados pelos resultados conseguidos nos testes e Vê de Gowin num dos grupos experimentais da amostra da professora-investigadora e no grupo experimental do professor-colaborador.

Assim, houve a necessidade de realizar uma entrevista focal para saber o que correu menos bem na utilização do modelo sobre a simulação de falhas e dobras.

VI.6 Análise das entrevistas focais

Após a análise aos resultados obtidos no teste não paramétrico (pré e pós-teste) bem como dos Vês de Gowin, houve a necessidade de realizar uma entrevista focal aos grupos experimentais (Apêndices XXIII e XXIV).

Quando se comparou o grupo 1 (experimental) com o grupo de controlo, ambos da amostra da professora-investigadora, verificou-se que inicialmente eram grupos estatisticamente semelhantes e passaram a ser distintos, após a intervenção com modelos. Esta situação verificou-se quer no PI relativo à formação de cadeias montanhosas: o caso dos himalaia quer relativamente ao PI sobre a formação de falhas e dobras. Neste mesmo grupo experimental, verificou-se ainda uma melhoria nos resultados do segundo V Gowin relativamente ao primeiro. Contudo, o mesmo não aconteceu nos outros grupos experimentais, quer da professora-investigadora quer do professor-colaborador. Assim, decidimo-nos pela realização de entrevistas focais para saber quais os motivos/as razões que levaram a que tivessem ocorrido melhorias significativas apenas no PI sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaia. Também verificamos que os alunos quando avaliaram as atividades consideraram que a utilização de modelos em sala de aula melhorou o trabalho de equipa e permitiram desenvolver e conhecer o Raciocínio utilizado pelos geólogos, o que não é congruente com os resultados obtidos estatisticamente.

Morgan (1997) define entrevista com grupos focais como uma técnica de investigação que recolhe dados através de interações grupais quando se discute um tópico introduzido pelo entrevistador. Pode também ser caracterizada, como referem Veiga & Gondim (2001), como um recurso utilizado para compreender o processo de construção das perceções, atitudes e representações sociais de grupos humanos. A escolha de entrevista focal prende-se com o facto de ser uma técnica complementar, economizar tempo e permitir a visualização de diferentes perceções.

As entrevistas focais foram realizadas apenas nos grupos experimentais em que não se obtiveram resultados congruentes com os testes cognitivos, Vês de Gowin e questionários. As entrevistas encontram-se transcritas nos Apêndices XXIII e XXIV.

VI.6.1 Professora-investigadora

A partir da transcrição e análise da entrevista focal realizada ao grupo 2 (experimental) foi elaborado um quadro (quadro 6.79) no qual se encontram as categorias analisadas, as subcategorias, o código atribuído a cada subcategoria e a respetiva frequência. As citações correspondentes à categorização efetuada encontram-se no Apêndice XXIII, que corresponde à transcrição da entrevista focal.

Quadro 6.79. Categorização das respostas dadas na entrevista focal. ($n_1=21$).

Categoria (Código)	Subcategoria (Código)	Frequência
Aprendizagem baseada em modelos (A)	Mais atrativa; interessante (A_1)	6
	Mais dinâmica (A_2)	3
	Mais fácil aprender (A_3)	2
	Compreendem melhor (A_4)	7
Razões para o menor sucesso no PI da formação de falhas e dobras (B)	Não observam no quotidiano (B_1)	3
	Nunca ouviram falar nas notícias (B_2)	5
	Menos curiosidade do que saber como se formaram as montanhas (B_3)	4
	Conflitos no intervalo antes da aula (B_4)	3
	Grau de dificuldade superior (B_5)	2
	Conceitos novos e abstratos (B_6)	2
	Menor atenção (B_7)	0
	Falta de estudo (B_8)	0
Valor do V de Gowin para o ajudar a aprender (C)	O conhecimento em ciência é dinâmico (C_1)	4
	Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o Raciocínio que utilizam (C_2)	7
	Ajudou a compreender a utilização dos modelos (C_3)	5
	Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C_4)	6

Destacam-se assim, os seguintes pontos que os alunos apontaram para o facto de terem tido resultados de melhoria significativa apenas após o PI da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

- i) tinham mais interesse na formação de montanhas, porque observam no dia-a-dia enquanto falhas e dobras não observam;
- ii) nas notícias falam muitas vezes nas montanhas e nunca falam em falhas

- e dobras;
- iii) o grau de dificuldade da formação de falhas e dobras é maior;
 - iv) estavam mais atentos nas montanhas, porque era mais atrativa e tinham mais interesse;
 - v) nas falhas e dobras existiam conceitos que nunca tinham ouvido o que dificultava a compreensão;
 - vi) quando têm problemas no intervalo as aulas já não têm interesse nem estão com atenção. Só estão a pensar no que aconteceu.

É de realçar que, apesar dos resultados obtidos no PI da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias serem positivos, a entrevista focal vem reforçar que uma aprendizagem baseada na modelação como mais atrativa, dinâmica e facilitadora da aprendizagem.

VI.6.2 Professor-colaborador

A partir da transcrição e análise da entrevista focal realizada ao grupo 2 (experimental) foi elaborado um quadro (quadro 6.80) no qual se encontram as categorias analisadas, as subcategorias, o código atribuído a cada subcategoria e a respetiva frequência. As citações correspondentes à categorização efetuada encontram-se no Apêndice XXIV, que corresponde à transcrição da entrevista focal.

Quadro 6.80. Categorização das respostas dadas na entrevista focal. ($n_2=21$).

Categoria (Código)	Subcategoria (Código)	Frequência
Aprendizagem baseada em modelos (A)	Mais atrativa; interessante (A_1)	6
	Mais dinâmica (A_2)	1
	Mais fácil aprender (A_3)	2
	Compreendem melhor (A_4)	6
Razões para o menor sucesso no PI da formação de falhas e dobras (B)	Não observam no quotidiano (B_1)	4
	Nunca ouviram falar nas notícias (B_2)	0
	Menos curiosidade do que saber como se formaram as montanhas (B_3)	1
	Conflitos no intervalo antes da aula (B_4)	0
	Grau de dificuldade superior (B_5)	7

Valor do V de Gowin para o ajudar a aprender (C)	Conceitos novos e abstratos (B ₆)	0
	Menor atenção (B ₇)	3
	Falta de estudo (B ₈)	3
	O conhecimento em ciência é dinâmico (C ₁)	2
	Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂)	5
	Ajudou a compreender a utilização dos modelos (C ₃)	2
	Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C ₄)	5

Destacam-se assim, os seguintes pontos que os alunos apontaram para o facto de terem tido resultados de melhoria significativa após o PI da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias e o mesmo não se ter verificado após o PI da formação de falhas e dobras:

- i) tinham mais interesse na formação de montanhas, porque observam no dia-a-dia enquanto falhas e dobras não observam;
- ii) o grau de dificuldade da formação de falhas e dobras é maior;
- iii) estavam mais atentos nas montanhas, porque era mais atrativa, tinham mais interesse;
- iv) nas falhas e dobras como não era tão atrativa pelo que estavam com menor atenção na aula e, também, porque não estudaram.

É de realçar os resultados obtidos no PI da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias serem mais positivos do que no PI sobre falhas e dobras. A entrevista focal vem reforçar que um ensino baseado em modelos é mais estimulante, ativo e facilitador da aprendizagem. Aliado ao uso de modelos o recurso ao V de Gowin permitiu aos alunos compreenderem como se constrói o conhecimento em ciência. Permitiu, ainda, compreender o trabalho dos geólogos, a razão de estes recorrerem a modelos para explicar determinados acontecimentos bem como o Raciocínio que utilizam. A modelação auxiliou a aprendizagem da natureza da ciência e a espelhar o trabalho dos cientistas.

Conclusões

Este capítulo encontra-se dividido em três secções. Na primeira apresentam-se as conclusões após a análise e interpretação dos resultados obtidos a partir dos instrumentos de investigação que foram usados no PI, tendo por base a hipótese de investigação levantada no início desta investigação (o uso de modelos para o ensino das ciências naturais interfere no desenvolvimento do Raciocínio dos alunos). Na segunda secção, apontam-se algumas implicações e limitações do estudo. Terminamos o capítulo com algumas sugestões para trabalhos futuros, que poderão dar continuidade a esta linha de investigação, a qual permitiu verificar implicações positivas, no ensino e na aprendizagem ao nível do 7º ano de escolaridade, do ensino baseado em modelos.

1 Conclusões do programa de intervenção

Tendo por base o problema de investigação, definido no início do presente estudo (p. 46), *verificar se o recurso à modelação no ensino das ciências naturais no 7º ano de escolaridade permite auxiliar os alunos a desenvolverem o raciocínio por analogia, científico histórico e interpretativo*, realizou-se uma investigação quasi-experimental auxiliada por diversos instrumentos, construídos pela professora-investigadora. Os instrumentos elaborados permitiram a operacionalização do PI junto da amostra - alunos de 7º ano de escolas do norte de Portugal. Partindo da hipótese levantada nos primórdios da investigação (*o uso de modelos para o ensino das ciências naturais interfere no desenvolvimento do Raciocínio dos alunos*) foram realizados testes não paramétricos e construções de Vês de Gowin. Assim, o presente estudo permitiu a implementação de um ensino baseado em modelos, devidamente planificados, junto de alunos inscritos em turmas do 7º ano de escolaridade do ensino básico. Possibilitou, ainda, contribuir para um melhor conhecimento das implicações que a modelação tem nos processos de ensino e de aprendizagem das ciências, em particular da geologia.

Perante a sociedade de hoje, com o acelerado desenvolvimento tecnológico e científico cada vez mais é necessária uma escola dotada de profissionais mais

reflexivos, mais investigativos. O professor da escola de hoje deve ser menos transmissivo, menos teórico e mais prático e reflexivo das suas ações pedagógicas de forma a melhorar o seu ensino.

Por outro lado, tal como menciona Zeichner (1993), o professor-investigador não deve ser exclusivo das universidades ou centros de investigação, mas deve ser todo aquele que leciona.

Como o PI foi dividido em duas partes, a primeira referente à formação de cadeias montanhas: o caso dos Himalaias e a segunda, referente à formação de falhas e dobras, foi pertinente realizar a divisão das conclusões. Assim, relativamente à formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, da análise e interpretação dos resultados obtidos a partir dos instrumentos de investigação, concluímos que houve melhorias significativas quer nos grupos experimentais quer nos grupos de controlo. Contudo, o grupo de controlo que sofreu uma intervenção centrada no ensino tradicional, mais expositivo, mais centrado no professor (sem recurso à modelação), apesar de ter sofrido melhorias, os resultados alcançados foram muito baixos. Não obstante, o ensino tradicional, embora com menor sucesso, também permite melhorias nas aprendizagens.

Salienta-se ainda, características, evidenciadas pelos alunos dos grupos experimentais, indicadoras de motivação e interesse pelas atividades desenvolvidas, que se refletiu na melhoria das aprendizagens e pode ser corroborado pelas respostas dadas nas entrevistas focais. O uso do modelo sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias, permitiu o desenvolvimento do raciocínio científico, por analogia, histórico e interpretativo nos grupos experimentais quer da amostra da professora-investigadora quer da amostra do professor-colaborador. Shapiro (1985) no seu estudo afirma que o uso de analogias ajuda a modificar a estrutura cognitiva existente e o raciocínio por analogia facilita a compreensão e a resolução de problemas (Glynn, 1991; Black & Solomon, 1987). Tal como mencionam Ferreira, Alencão & Vasconcelos (2015) a modelação potenciou o desenvolvimento do raciocínio científico associado a atividades experimentais. Os resultados também evidenciaram que a modelação permitiu aos alunos um correto preenchimento do V de Gowin, o que implicou o domínio de alguns processos científicos e de capacidades investigativas. Os resultados dos V de Gowin foram bastante positivos em ambos os grupos experimentais.

No que concerne ao segundo momento do PI, a formação de falhas e dobras, houve resultados diferentes entre os grupos experimentais. Num dos grupos

experimentais da amostra da professora-investigadora a utilização de modelos demonstrou melhorias significativas do estado inicial da amostra para o estado após a intervenção. E quando se analisou os resultados por tipo de raciocínio desenvolvido verificou-se, igualmente, melhorias significativas nos raciocínios por analogia, científico, histórico e interpretativo. Os resultados, muito positivos, também evidenciaram que a modelação permitiu aos alunos um correto preenchimento do V de Gowin, o que mais uma vez significa que estes aprenderam alguns processos científicos e capacidades investigativas.

Porém, nos outros dois grupos experimentais tal não se verificou. Ocorreram melhorias do estado inicial da amostra para o estado final, após a intervenção, mas não foram significativas. Os grupos de controlo melhoraram um pouco, menos, como seria espectável. Em nenhum grupo de controlo a avaliação mais elevada foi superior à avaliação dos grupos experimentais. Os resultados obtidos a partir dos testes não-paramétricos não foram congruentes com os evidenciados nos Vês de Gowin, os quais tinham sido preenchidos corretamente. Surgiu, então, a necessidade de realizar entrevistas focais para ver se conseguíamos melhor interpretar os resultados obtidos. Da análise e interpretação das entrevistas focais verificamos que apesar dos alunos referirem gostar mais de aulas que utilizam uma metodologia investigativa, e como tal, seria um bom motivo para o sucesso da modelação de falhas e dobras, tal não se verificou. O que sobressai das entrevistas focais é que os alunos sentem um maior interesse e, como tal, uma maior motivação por conteúdos que lhes sejam familiares. Relembre-se uma citação de uma aluna: *“Himalaias eu já ouvi falar. É lá para a China e então tinha curiosidade em saber como se formaram. As falhas e dobras nunca vi, nunca ouvi falar e sinceramente ao olhar para aquela areia perguntava-me onde é que podia ver aquilo. Foi uma atividade gira mas tinha muitos nomes estranhos. O que é que me interessa se é uma falha normal ou inversa?”* (Mara, amostra n_1).

Outro item referido como potenciador de resultados menos favoráveis na modelação de falhas e dobras foi o facto de os alunos considerarem os conteúdos de falhas e dobras mais complexos. Salienta-se, ainda, que os alunos dos grupos experimentais onde não existiu melhorias significativas não manifestaram interesse, nem empenho, na realização das tarefas propostas. Apresentavam comportamentos díspares do estipulado ao nível de regulamento interno como aceitável, tinham interesses divergentes da escola e não possuíam suporte familiar que estimulasse o sucesso escolar (facto que pode ser constatado da análise das entrevistas focais).

Pelo exposto, neste estudo, podemos concluir que a modelação por si só não melhora totalmente a aprendizagem dos alunos, mas tem contribuição significativa. A motivação dos alunos para a aprendizagem, o desconhecido e a complexidade do tema/conteúdos a abordar são geradores da influência nos resultados finais. No entanto, realça-se que mesmo não sendo significativa a melhoria entre a amostra inicial e a amostra final, o sucesso dos resultados finais foram sempre superiores nos grupos experimentais relativamente aos grupos de controlo. Tal faz prevalecer a supremacia do ensino baseado em modelos face à metodologia tradicional.

Analisando o PI como um todo, podemos concluir que o uso de modelos para o ensino das ciências naturais auxilia no desenvolvimento do Raciocínio (por analogia, científico, histórico e interpretativo) dos alunos. Que os auxiliam a reconstruírem os seus modelos mentais numa procura de maior consistência destes com os modelos científicos. Refira-se, ainda, que o ensino baseado em modelos apoiado com o V de Gowin contribuiu de forma mais relevante para o desenvolvimento do Raciocínio e dos processos investigativos que a metodologia tradicional.

2. Contributo da componente empírica

A utilização de uma metodologia que exige um trabalho mais ativo e colaborativo por parte dos alunos requer uma ação antecipada do professor, com trabalho extra sala de aula.

Os resultados do presente estudo são um incentivo à utilização de modelos e Vês de Gowin em contexto de sala de aula. Ambos contribuíram para a melhoria das práticas pedagógicas e levaram-nos a concluir que o uso de modelos permite a compreensão de processos geológicos complexos que ocorrem em escalas temporais e espaciais extensas. Permitiram, ainda, estimular e motivar os alunos para os conteúdos de ciências, em particular os da geologia.

Através da modelação, os alunos puderam compreender os tipos de raciocínios que os geólogos utilizam para explicarem processos tão complexos como os que ocorrem no sistema Terra.

Tendo consciência da importância da implementação dos trabalhos práticos no ensino das ciências, a modelação permitiu fazer a extrapolação para a realidade,

independentemente do tempo geológico e da área geográfica. Como mencionam Orion e Fortner (2003) a escala temporal é muito distante e abstrata comparativamente com a escala humana.

Os trabalhos práticos permitem que os alunos construam um pensamento fundamentado e desenvolvam atitudes investigativas e colaborativas que serão úteis na resolução dos problemas do quotidiano. Como menciona Fonseca e colaboradores (2001) a modelação permite a participação ativa dos alunos à medida que surgem questões no desenrolar da atividade.

A construção dos Vês de Gowin, a seguir à utilização dos modelos, coadjuvou na mobilização de conteúdos científicos, ajudando a aprender e a compreender os processos investigativos. Implicou o domínio de capacidades investigativas.

Estando cientes de que a aplicação de metodologias centradas nos alunos pode criar constrangimentos a alguns professores que estão acostumados a serem os “detentores do saber”, esperamos que este trabalho sirva para melhorar as práticas dos professores de ciências, em particular da geologia, acreditando que o ensino centrado no aluno permite o desenvolvimento de Raciocínio dotando-os de maior competência na resolução dos problemas do quotidiano.

3. Limitações do estudo e perspetivas para futuros estudos

A modelação em geologia terá sempre limitações, mesmo com a evolução de técnicas e materiais que se tem à disposição, porque é impossível reproduzir na integra em laboratório o que demora milhões de anos a ocorrer na natureza. A geologia terá de lidar sempre com escalas temporais e espaciais não reproduzidas em laboratório. Não obstante, os modelos para o ensino permitem o desenvolvimento de simulações em sala de aula que auxiliam a aprendizagem.

Outra limitação da presente investigação foi o facto da amostra ser composta por alunos com baixo interesse pelas atividades escolares, como constatado ao longo do estudo. Aliado aos interesses divergentes dos alunos associou-se a pressão pelo cumprimento do currículo e o facto da metodologia não ser familiar. Os alunos não estão habituados a questionar, não apresentam atitudes investigativas, pelo que o ensino baseado em modelos exige mais dedicação do professor e mais tempo (pelo menos

numa fase inicial).

Após a realização do estudo sugerimos que, em futuras investigações ocorra:

- a realização de mais trabalhos que abordem o ensino baseado em modelos. O desenvolvimento de trabalhos na área da formação inicial de professores bem como na formação contínua que estimulem e motivem a adoção de uma atitude de professor-investigador.
- A criação de mais espaços que aproximem a prática da teoria, que aproximem o investigador do professor. Para tal, as escolas devem ser dotadas de novos materiais didáticos que foram construídos e validados de forma a melhorar as práticas pedagógicas. Os professores deveriam ter acesso, por exemplo, a uma plataforma educacional onde facilmente encontrassem TP cientificamente enquadrados e validados de forma a aplicarem nas suas práticas pedagógicas.
- Uma inclusão de um maior número de trabalhos práticos nos currículos de ciências, nomeadamente envolvendo a utilização/elaboração de modelos.

Desejamos que os nossos dados potenciem novas investigações com repercussões positivas nos jovens que venham a ser cidadãos com uma literacia científica ativa.

Referências Bibliográficas

- Aceti, D. & Cesar, L. (2009). O pensamento científico-abordagem da pesquisa no estudo interpretativo. *Revista de Educação*, XII (13), 99-107.
- Adams, F. (1938). *The birth and development of the geological sciences*. Baltimore: The Williams & Wilkins Company.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A “Semantic” view of scientific models for science education. *Science & Educacion*, 22, 1593-1611.
- A&E Television Networks, LLC (2016). René Descartes Biography. Disponível em URL: <http://www.biography.com/people/ren-descartes-37613>, consultado em janeiro de 2016.
- Alarcão, I. (2001). Professor-investigador: Que sentido? Que formação?. In *Cadernos de Formação de Professores*, 1, 21-30.
- Alencão, A.; Oliveira, A. & Pacheco, f. (2012). Modelos análogos para experimentação em hidrogeologia. *Geonovas*, 25, 35-40.
- Allègre, C. (1987). *Da Pedra à Estrela* (Coleção Ciência Nova). Lisboa: Ciência Nova.
- Alvarez, W. & Leitão, H. (2010). The neglected early history of geology: the copernican revolution as a major advance in understanding the earth. *Geology*, 38, 231-234.
- Alvaréz, R. & Torres, E. (1996). Los modelos analógicos en geología: implicaciones didácticas. Ejemplos relacionados con el origen de materiales terrestres. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4 (2), 133-139.
- Alzate, O. (2013). Modelos y modelización en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 3484-3487.
- Amador, F. (2008). O ensino da geologia nas escolas portuguesas, durante o século XIX e primeira metade do século XX: reformas curriculares e manuais escolares. *Terrae Didactica*, 3(1), 4-17.
- Amador, F. (2009). As controvérsias científicas na história da ciência. *Revista de Estudos Universitários*, 35 (2), 17-31.
- Amador, F. & Contencas, P. (2001). *História da Biologia e da Geologia*. Lisboa: Universidade Aberta.
- American Association for the Advancement of Science (2016). Deep-sea drilling expedition to look for life's limits in scalding environments. Disponível em: <http://www.jamstec.go.jp/chikyu/e/exp370/>), consultado em dezembro de 2016.
- Andrade, G. (1991). *Ensino da Geologia*. Lisboa: Universidade Aberta.
- Andrade, A. (2001). Questões. Problemas do quotidiano. Contributos para uma abordagem global no currículo de Geociências. In Marques, L. & Praia, J. (org.), *Geociências nos currículos dos Ensino Básico e Secundário*. (pp. 115-130). Aveiro: Universidade de Aveiro.

- Anguita, F. (1994). Geologia. Ciências de la Tierra. Ciencias de la naturaleza: paisaje de un aprendizaje global. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 15-21.
- Anguita, F. (1995). La evolución de la tectónica de placas: el nuevo interior de la tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 33, 137- 148.
- Anónimo (1878). The Formation of Mountais (A report on the work of Alphonse Favre. *Nature*, 19, 103-106. Retirado de: http://en.wikisource.org/wiki/Popular_Science_Monthly/Volume_14/February_1879/The_Formation_of_Mountains.
- Aubusson, P.; Treagust, D. & Harrison, A. (2009). Learning and teaching science with analogies and metaphors. In Ritchie, S. (Ed.) *The World of Science Education: Handbook of Research in Australasia* (pp. 217-234). Boston: Sense Publishers.
- Ausubel, D. (2003). *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Ausubel, D.; Novak, J. & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: a cognitive view*. Nova York: Holt, Rinehart and Winston.
- Autor desconhecido (2001). Johann Baptista van Helmont. Disponível em URL: http://mattson.creighton.edu/History_Gas_Chemistry/vanHelmont.html), consultado em dezembro de 2015.
- Baker, V. (1998). Catastrophism and uniformitarianism: logical roots and current relevance in geology. *Geology*, special publications, 143 (1), 171-182.
- Baker, V. (2013). Rethinking the fabric of geology: An introduction. *Geological Society of America Special Papers*, 502, 5-9.
- Baker, V. (2014a). Uniformitarianism, earth system science, and geology. *Anthropocene*, 5, 76-79.
- Baker, V. (2014b). Terrestrial analogs, planetary geology, and the nature of geological reasoning. *Planetary and Space Science*, 95, 5-10.
- Barquero, B. (1995). *La representación de estados mentales en la comprensión de textos desde el enfoque teórico de los modelos mentales* (Tese de Doutoramento). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- Barreiras, S. (2005). *Trabalho prático na tectónica experimental: os diários de aula como instrumento de investigação e desenvolvimento profissional* (Dissertação de mestrado). Universidade do Porto, Porto.
- Barreiras, S.; Silva, H.; Vasconcelos, C. & Fonseca, P. (2006). Tectónica Experimental: Actividades de Simulação. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14 (1), 82-84.
- Barreiros, L. (2005). Freud e Johnson-Laird: modelos mentais no “Caso Dora” *Afreudite*. 2, 99-117.
- Bell, J. (1997). Como realizar um projeto de investigação. Lisboa: Gradiva.
- Bell, R. (2006). Perusing Pandora's box. Exploring the what, when and how of nature of science instruction. In L.Flick & N. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and Nature of Science* (pp. 427-446). The Netherlands: Springer.

- Bergoeing, J. (2012). Tectónica de placas y vulcanismo en el área de del gran rift. *Mercator – Revista de Geografia da UFC*, 11 (26), 183-216.
- Bezzeghoud, M. (2012). Viagem ao interior da Terra. In *Two decades os earth science research* (pp.41-62). Évora: Centro de Geofísica de Évora.
- Black, D. & Solomon, J. (1987). Can Pupils Use Taught Analogies for Electric Current? *Teaching GCSE Electronics*, 248-254.
- Blackwelder, E. (1961). *Bailey Willis*. Washington D.C.: National Academy of Sciences.
- Bolacha, E. (2008). Elementos sobre a Epistemologia da Geologia: uma contribuição no Ano Internacional do planeta Terra. *E-Terra*, 6 (2), 1-16.
- Bolacha, E. (2014). *Modelos de Dinâmica da Terra aplicados à Geologia de Portugal: Relevância da Experimentação análoga no Ensino e Divulgação da Geologia* (Tese de Doutoramento). Lisboa: Universidade de Lisboa.
- Bolacha, E.; Deus, H. & Fonseca, P. (2009). Modelação análoga em geologia, na sala de aula: como se faz uma montanha. In *Actas do XXIX Curso de Actualização de Professores em Geociências*, Lisboa, 3-5 setembro 2009.
- Bolacha, E., Deus, H., Caranova, R., Silva, S., Costa, A., Vicente, J., & Fonseca, P. (2006). Uma Experiência na Formação de Professores: Modelação Analógica de Fenómenos Geológicos: A Geologia no Laboratório. *Geonovas*, 20, 33-56.
- Bolacha, E.; Deus, H. & Fonseca, P. (2012). The Concept of Analogue Modelling in Geology: an approach to mountain building. *Science Learning and Citizenship* (Proceedings of ESERA 2011). Lyon.
- Bolacha, E.; Dias, R. & Fonseca, P. (2012). Modelos experimentais para viajar no tempo: um estudo de caso no CCV de Estremoz. *Conference: VII AFI Encontro Aprendizagem Formal e Informal*. Redondo.
- Bolacha, E. & Fonseca, P. (2010). A relevância da Geologia Experimental para o conhecimento da Terra: contributos da Tectónica. In *Actas do VIII Congresso Nacional de Geologia*, 15. Braga: Universidade do Minho. <http://metododirecto.pt/CNG2010/index.php/vol/article/view/72> (acedido em 01/07/2014).
- Bolacha, E.; Martins, M.; Barros, M.; Deus, H. & Fonseca, P. (2009). Modelação análoga da formação de montanhas – orogenias: um desejável contributo para a cultura científica. *Atas do III Encontro Nacional de Educação em Ciências*, Instituto Politécnico de Castelo Branco, 713-722.
- Bonito, J.(Coord.); Morgado, M.; Silva, M.; Figueira, D.;Serrano, M.; Mesquita, J. & Rebelo, H. (2013). Metas Curriculares Ensino Básico Ciências Naturais 5º, 6º, 7º e 8º anos. Ministério da Educação e Ciência.
- Bonito, J. (2014). Reorganização das metas curriculares no ensino básico português: o caso das Geociências. *Terrae Didactica*, 10(3), 227-239.
- Bo’Ness Pottery, the pottery industry of borrowstounness 1766-1958. (s.d.). *Henry Moubray Cadell*. Extraído de <http://bonesspottery.co.uk/indp.html>

- Borges, A. (1997). Um estudo de modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciência*, 2 (3), 207-226.
- Brandstetter, T. (2011). Time Machines: Model Experiments in Geology. *Centaurus* 2011, 53, 135–145.
- Brown, S. & Salter, S. (2010). Analogies in science and science teaching. *Advances in Phsysiology Education*, 34, 167-169.
- Brusi, D.; Zamorano, M.; Rosa, M. & Bach, J. (2011). Reflexiones sobre el diseño por competencias en el trabajo de campo en Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19 (1), 4-14.
- Cachapuz, A. (1989). Linguagem metafórica e o ensino das ciências. *Revista Portuguesa de Educação*, 2 (3), 117-129.
- Cachapuz, A.; Praia, J. & Jorge, M. (2002). *Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências*. Lisboa: Ministério da Educação;
- Cadell, H. (1888). Experimental researches in Mountain-building. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 35, 337–357.
- Cailleux, A. (1952). *Introdução à Geologia*. Lisboa: Editorial Notícias.
- Carrilho, M. (1994). *A Filosofia das Ciências: de Bacon a Feyerabend*. Lisboa: Editorial Presença.
- Carvalho, G. (2014). Evolução do pensamento geológico nos contextos filosófico, religioso, social e político da Europa. Lisboa: Âncora Editora.
- Castelhano, P.; Madaleno, I. & Azinhaga, P.(2013). La Tierra Cresce? Talvez! *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(1), 120-132.
- Cavadas, B. & Franco, D. (2010). A Teoria da Deriva dos Continentes de Alfred Wegener nos manuais escolares de ciências naturais portugueses. *Entretextos*. Lisboa: Instituto de Ciências da Educação.
- Celino, J. & Leite, O. (2001). A importância das controvérsias geológicas no ensino da Geologia: exemplo do modelo fixista à tectónica de placas. *Cadernos de Geociências*, 6 (1).
- Celino, J.; Marques, E. & Leite, O. (2003). Da deriva dos continentes à Teoria da Tectónica de Placas: uma abordagem epistemológica da construção do conhecimento geológico, suas contribuições e importância didática. *Geo.br*, 1 (23).
- Centre National de la Recherche Scientifique (s/d). Les pionniers de la modélisation. Disponível em URL: http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01_decouvrir/06_pionniers/08a.htm, consultado em janeiro de 2016.
- Cervato, C. & Frodeman, R. (2013). A importância do tempo geológico: desdobramentos culturais, educacionais e económicos. *Terrae Didatica*, 10, 67-79.

- Chamberlin, T. (1897). The method of multiple working hypotheses. *Journal of Geology*, 5, 837-848.
- Chaplin, J. (1981). Dicionário de Psicologia. Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- Chemical Heritage Foundation (2010). Robert Boyle. Disponível em URL: <http://www.chemheritage.org/discover/online-resources/chemistry-in-history/themes/early-chemistry-and-gases/boyle.aspx>, consultado em dezembro de 2015.
- Chernicoff, S. & Venkatakrishnam, R. (1995). *Géologie: An Introduction to Physical Geology*. New York: Worth Plubishers, Inc.
- Chrono-Biographical Sketches. (s.d.). *Willis, Bailey (United States 1857-1949) geology*. Extraído de <http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/WILL1857.htm>
- Clary, R. & Wandersee, J. (2014). The history and nature of science. Is the past the key to our future? *Science Scope*, 37 (6), 63-71.
- Cleland, C. (2013). Common cause explanation and the search for a smoking gun. *Geological Society of America Special Paper*, 502, 1-9.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22 (99), 1041-1053.
- Cohen, L.; Marion, L. & Morrison, K. (2007). *Research methods in Education*. New York: Routledge.
- Coll, R.; France, B. & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27 (2), 183-198.
- Compiani, M. (2011). Las geociencias y los trabajos de campo podrán derrocar al reinado de los enunciados sobre las imágenes? *Enseñanza de las ciências de la tierra*, 19(1), 26-38.
- Correia, G. & Gomes, C. (2011). O trabalho de campo no ensino da Geologia: um estudo com alunos do 7º ano de escolaridade. *Simpósio Modelação de Sistemas Geológicos: Homenagem ao Professor Manuel Maria Godinho*, 175-187.
- Corti, G. (2012). Evolution and characteristics of continental rifting: Analog modeling-inspired view and comparison with examples from the East African Rift System. *Tectonophysics*, 522–523, 1–33.
- Costa, J. & Sampaio, A. (1998). *Dicionário da Língua Portuguesa da Porto Editora*. Porto: Porto Editora.
- Costa, R; De-Campos, a. & Rocha, C. (2014). Notas preliminares sobre o potencial de uso da experimentação no ensino de Geociências na educação básica. *Terrae didática*, 10 (3), 383-393.
- Costa, S. & Moreira, M. (2002). O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas em física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (1), 61-74.

- Cotrim, G. (2000). *Fundamentos da Filosofia: História e grandes temas*. São Paulo: Saraiva.
- Coutinho, C. (2011). *Metodologia de investigação em ciências sociais e humanas: teoria e prática*. Coimbra: Edições Almedina.
- Coutinho, C.; Sousa, A.; Dias, A.; Bessa, F.; Ferreira, M. & Vieira, S. (2009). Investigação-Ação: Metodologia preferencial nas práticas educativas. *Psicologia, Educação e Cultura*, XIII (2), 455-479.
- Cruz, C. (1996). La historia de la geología como hilo conductor de una unidad didáctica: tectónica de placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4 (1), 59-66.
- Cruz, C. (1998). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16 (2), 323-330.
- Cruz, C. (2003). La filosofía geológica en los inicios del siglo XX: marco epistemológico de la deriva continental. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11 (1), 28-37.
- Cruz, C. (2008). El origen de las montañas (III). propuesta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16 (2), 135-144.
- Curtis, R. & Reigeluth, C. (1984). The use of analogies in written text. *Instructional Science*, 13, 99-117.
- Dagher, Z. (1998). The case for analogies in teaching science for understanding. In J. Mintzes, J. Wandersee, & J. Novak (Eds.), *Teaching science for understanding: A human constructivist view* (pp. 195-211). San Diego, CA: Academic Press.
- Daubrée, A. (1879). *Études synthétiques de géologie expérimentale*. Paris: Librairie des Cours.
- Davis, G. & Reynolds, S. (1996). *Strutural Geology of rocks and regions*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Decreto Lei n.º 139/2012 de 5 de julho do Ministério da Educação e Ciência. Diário da República: I série, n.º 129 (2012)
- Del Carmen, L. & Pedrinaci, E. (1997). El uso del entorno y el trabajo de campo. *La enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza em la Educación Secundaria* (pp. 137-138). Barcelona: I.C.E. Universitat Barcelona e Editorial Horsori.
- Demhardt, I. (2005). Alfred Wegener's Hypothesis on Continental Drift and its discussion in Petermanns Geographische Mitteilungen (pp. 1912-1942). *Polarforschung*, 75 (1), 29-35.
- Deparis, V. & Legros, H. (2000). *Voyage à l'intérieur de la Terre: de la Géographie Antique à la géophysique Moderne – Une Histoire des Idées*. Paris: CNRS Éditions.
- Despacho n.º 5122/2013 de 16 de abril do Ministério da Educação e Ciência. Diário da República: II série, n.º 74 (2013).
- Dewey, J. (1959). *Como pensamos* (Vol. I). São Paulo: Companhia Editora Nacional.

- Díaz, J. (1996). La tecnología em las relaciones CTS. Una aproximación al tema. *Enseñanza de las ciencias*, 14 (1), 35-44.
- Ding, L.; Cui, L. & Luo, Y. (2009). Physics learning and scientific reasoning. *Science*, 323, 586-587.
- Dodick, J. & Orion, N. (2003). Geology as an historical science: its perception within science and the education system. *Science & Education*, 12, 197-211.
- Dott, R. (2005). *James Hall JR. 1811-1898*. Washington: The National Academies Press.
- Doug Stewart (2016). Thomas Burnet. Disponível em URL: <http://www.famousscientists.org/thomas-burnet>, consultado em fevereiro de 2016.
- Douglas, A. (1997). James Hutton and Coal. *Cadernos IG/UNICAMP*, 7, 167-183.
- Dourado, L. & Leite, L. (2008). Actividades laboratoriais e o ensino de fenómenos geológicos. In *actas do XXI Congresso de ENCIGA*. Carballino: IES Manuel Chamoso Lamas.
- Drie, J. & Boxtel, C. (2008). Historical reasoning: Towards a framework for analysing students' reasoning about the past. *Educ psychol Rev*, 20, 87-110.
- Duarte, M. (2005). Analogias na educação em ciências contributos e desafios. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(1), 7-29.
- Duit, R. (1991). The role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75 (6), 649-672.
- Ecotopia. (1994). M. King Hubbert. Disponível em URL: <http://www.hubbertpeak.com/hubbert/>, consultado em janeiro de 2016.
- Encyclopaedia Britannica, Inc. (2016a). Nicolaus Steno. Disponível em URL: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/565278/Nicolaus-Steno> consultado em janeiro de 2016.
- Encyclopaedia Britannica, Inc. (2016b). Sir Charles Lyell, Baronet. Disponível em URL: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/352672/Sir-Charles-Lyell-Baronet>, consultado em fevereiro de 2016.
- Encyclopaedia Britannica, Inc. (2016c). Alfred Wegener, Baronet. Disponível em URL: <https://www.britannica.com/biography/Alfred-Wegener>, consultado em fevereiro de 2016.
- Encyclopaedia Britannica, Inc. (2016d). Eduard Suess, Baronet. Disponível em URL: <https://www.britannica.com/biography/Eduard-Suess>, consultado em fevereiro de 2016.
- Engelhardt, W. & Zimmermann, J. (1988). *Theory of Earth Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ETH-Bibliothek Zürich. (2016). Hans Schardt. Disponível em URL: <http://www.library.ethz.ch/Ressourcen/DigitaleKollektionen/Kurzportraits/HansSchardt-1858-bis-1931>, consultado em março de 2016.

- Ferraz, D. & Terrazzan, E. (2003). Uso espontâneo de analogias por professores de biologia e o uso sistematizado de analogias: que relação?. *Ciência & Educação*, 9 (2), 213-227.
- Ferreira, C. (2012). *A modelação Análoga no Ensino da Geologia: um estudo centrado na Aprendizagem Baseada na Resolução de Problemas* (Tese de Doutoramento). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Ferreira, C.; Alencão, A. & Vasconcelos, C. (2015). O recurso à modelação no ensino das ciências: um estudo com modelos geológicos. *Ciências Educação*, Bauru, 21 (1), 31-48.
- Figueiroa, A. (2009). Os manuais escolares de ciências e as explicações associadas às actividades laboratoriais: um estudo centrado no tema “características e comportamentos do ar”. In *Actas do X congresso Internacional Galego-Português de Psicopedagogia*. Braga: Universidade do Minho, 3277-3295.
- Fischer, F.; Kollar, I.; Ufer, S.; Sodian, B.; Heinrich, H.; Pekrun, R.; Neuhaus, B.; Dorner, B.; Pankofer, S.; Fischer, M.; Strijbos, J.; Heene, M. & Eberle, J. (2014). Scientific reasoning and argumentation: advancing an interdisciplinary research agenda in education. *Frontline Learning Research*, 5, 28-45.
- Fonseca, J. (1993). *Ensino das ciências para a literacia científica*. Comunicação apresentada no IV Encontro Nacional de Docentes de Ciências da Natureza, Aveiro: Universidade de Aveiro, 111-126.
- Fonseca, P.; Barreiras, S. & Vasconcelos, C. (2005). Trabalho experimental no ensino da geologia: aplicações da investigação na sala de aula. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congresso, 1-5.
- Fonseca, P., Caranova, R., Pinto Ribeiro, L., Chaminé, H., Almeida, P., Espinha Marques, J., Gomes, A., Teixeira, J., Araújo, A., Marques, J., Jesus, A., Gama Pereira, L., Rocha, F., Carvalho, J. & Sodrê Borges, F. (2004). Aplicação de modelos analógicos em regime frágil no domínio da geologia aplicada: experiências recorrendo a caixa de deformação de areias. *Actas do 9o Congresso Nacional de Geotecnia* (pp. 21-26). Aveiro, Sociedade Portuguesa de Geotecnia/Universidade de Aveiro.
- Fonseca, P.; Ribeiro, L.; Caranova, R. & Filipe, P. (2001). Experimentación analógica sobre el desarrollo de un diapiro y la deformación producida en las rocas encajantes. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. Vol. 9 (3), 270-276.
- Fossen, H. (2010). *Structural Geology*. Edinburg: Cambridge University Press.
- Frankel, H. (1995). De la deriva de los continentes a la tectónica de placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3 (3), 130-136.
- Franco, C. (1999). Scientists' and inventors' minds to some scientific and technological products: relationships between theories, models, mental models and conceptions. *International Journal of Science Education*, 21(3), 277-291.
- Friedrich Pfaff' Disponível em URL: <http://apprendre-math.info/history/photos/Pfaff.jpg>, consultado em janeiro de 2016.
- Frigg, R. & Hartmann, S. (2012). Models in Science. In Zalta, E. N. (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*.

<http://plato.stanford.edu/archives/fall2012/entries/models-science/> acedido em 05/08/2012).

- Frodeman, R. (1995). Geological Reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *GSA Bulletin*, 107 (8), 960-968.
- Frodeman, R. (Ed). (2000). *Earth Matters: The Earth Sciences, Philosophy, and the Claims of Community*. New Jersey: Prentice Hall.
- Frodeman, R. (2001). The epistemology of the geosciences. In Marques, L. & Praia, J. (org.). *Geociências nos currículos dos ensinos básico e secundário*. Aveiro: Universidade de Aveiro, 215-233.
- Frodeman, R. (2003). *Geo-logic: Breaking ground between philosophy and the earth sciences*. Albany: state University of New York Press.
- Frodeman, R. (2010). O raciocínio geológico: a geologia como uma ciência interpretativa e histórica. *Terrae Didactica*, 6(2), 85-99.
- Frodeman, R. (2014). Hermeneutics in the Field: The Philosophy of Geology. In Babich, B. & Ginev, D. (Eds.), *The Multidimensionality of Hermeneutic Phenomen* (pp.69-79). Springer International Publishing.
- Galagovsky, L. & Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Investigación Didáctica*, 19 (2), 231-242.
- Galvão, C. (coord.), Neves, A.; Freire, A.; Lopes, A.; Santos, M.; Vilela, M.; Oliveira, M. & Pereira, M. (2001). *Ciências Físicas e Naturais. Orientações Curriculares para o 3º ciclo do Ensino Básico*. Lisboa: Ministério da Educação, Departamento da Educação Básica.
- Galvão, D. & Finco, G. (2009). Geociências no ensino médio: aprendendo para a cidadania. *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências: Florianópolis*.
- Gamble, C. & Moutsiu, T. (2011). The time revolution of 1859 and the stratification of the primeval mind. *Notes Rec. R. Soc.*, 65, 43-63.
- Gates, A. (2003). *A to Z of Earth Scientists: Notable Scientists*. New York: Facts on File.
- G.E.G.M. (2009). Auguste Daubrée. Disponível em URL: http://www.gegm-france.org/nouveau_fichier_15.htm, consultado em janeiro de 2016.
- Gibin, G. & Ferreira, L. (2009). Investigação de modelos mentais dinâmicos sobre a dissolução de NaCl por meio da elaboração de animações. In VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências: Florianópolis 8 de novembro de 2009.
- Giere, R. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.
- Gilbert, J. (2004). Models and modelling: routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130.

- Gilbert, J. & Osborne, R. (1980). The use of models in science and science teaching. *European Journal of Science Education*, 2 (1), 3-13.
- Gilbert, S. W. (2011). *Models-Based Science Teaching*. Arlington: NSTA Press.
- Gilbert, J., Boulter, C. & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. Gilbert & C. Boulter (eds.) *Developing Models in Science Education* (pp. 3-18). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, S. & Ireton, S. (2003). *Understanding models in Earth and Space Science*. Virginia: NSTA Press.
- Giordan, M. (1999). O papel da experimentação no ensino de ciências. Comunicação apresentada no II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 1 a 4 de setembro, 1-13.
- Glynn, S., Britton, B., Semrud-Clikman, M. & Muth, K. (1989). Analogical Reasoning and Problem Solving in Science Textbooks. In Glover, J., Ronning, R. & Reynolds, C. (eds). *Handbook of Creativity* (pp. 383-398). New York: Plenum Press.
- Glynn, S. (1991). Explaining science concepts: a Teaching-With –Analogies Model. In Glynn, S.; Yeanny, R. & Britton, B. (Eds.), *The Psychology of Learning Science*. New Jersey: Erlbaum.
- Gödek, y. (2004). The importance of modelling in science education and in teacher education. *Hacettepe Üniversitesi E.İtim Fakültesi Dergisi*, 26, 54-61.
- Gohau, G. (1987). *História da Geologia*. Mem Martins: Publicações Europa-América.
- Gonçalves, P. (1998). A coleção huttoniana de minerais, rochas e fósseis: possíveis papéis educativos para o ensino de ciências da Terra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 6(3), 223-227.
- Gonçalves, P. & Carneiro, C. (2006-2007). Magmas e rochas ígneas: o estudo do calor interno da terra. *Revista USP*, 72, 62-73.
- Gorceix, M. (1924). Expériences de laboratoire sur la formation des montagnes. *Revue de géographie alpine*, 12 (1), 31-78.
- Gowin, D. & Alvarez, M. (2005). *The art of education with V diagrams*. New York: Cambridge University Press.
- Graveleau, F.; Dominguez, S. & Malavieille, J. (2008). *A new analogue modelling approach for studying interactions between surface processes and deformation in active mountain belt piedmonts*. GeoMod Meeting, 22-24 setembro de 2008, Florenza: Villa la Pietra.
- Graveleau, F.; Malavieille, J. & Dominguez, S. (2012). Experimental modelling of orogenic wedges: a review. *Tectonophysics*, 538-540, 1-66.
- Graveleau, F.; Vincent, S.; Dominguez, S.; Malavieille, J.; Chatton, M.; Manighetti, I. & Petit, C. (2015). Experimental modelling of tectonics-erosion-sedimentation interactions in compressional, extensional, and strike-slip settings. *Geomorphology*, 244, 146-168.
- Greca, I. & Moreira, M. (1997). The kinds of mental representations – models, propositions and images – used by college physics students regarding the concept

of field. *International Journal of Science Education*, 19 (6), 711-724.

Greca, I. & Moreira, M. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22 (1), 1-11.

Greca, I. & Santos, F. (2005). Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (1), 31-46.

Gregory, H. (1921). History of geology. *The Scientific Monthly*, 12 (2), 97-126.

Grotzinger, J.; Jordan, T.; Press, F. & Siever, R. (2007). *Understanding Earth*. 5th edição. New York: WH Freeman.

Grundschule an der Paulckestraße (2016). Grundschule an der Paulckestraße Wir leben gemeinsam gemeinsame Werte. Disponível em URL: http://www.gs-paulcke.musin.de/?page_id=175, consultado em março de 2016.

Guerra-Ramos, M. (2010). Analogies as tools for meaning making in elementary science education: how do they work in classroom settings? *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 7(1), 29-39.

Hallam, A. (1985). *Grandes controvérsias geológicas*. Barcelona: Editorial Labor.

Halloun, I. (2007). Mediated modeling in science education. *Science & Education*, 16, 653-697.

Harrison, A. & Treagust, D. (1993). Teaching with analogies: a case study in grade-10 optics. *Journal os Research in Science Teaching*, 30 (10), 1291-1307.

Harrison, A. & Treagust, D. (1998). Modelling in science lessons: are there better ways to learn with models? *School Science and Mathematics*, 98 (8), 420-429

Harrison, A. & Treagust, D. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1011-1026.

Harrison, A. & Treagust, D. (2006). Teaching and learning with analogies. In Aubusson, P. et al. (Eds.) *Metaphor and Analogy in Science Education* (11-24). Netherlands: Springer.

Heim, A. (1878). *Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi-Windgällengruppe*. Basel: Berno Schwabe.

Hellman, H. (1999). *Grandes debates da ciência: dez das maiores contendadas de todos os tempos*. Traduzido por Marques, J. São Paulo: Fundação Editora da UNESP.

Hesse, M. (1966). *Models and analogies in science*. Indiana: University of Notre Dame Press.

Hodson, D. (1988). Experiments in science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20 (2), 53-66.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más critico del trabajo de laboratório. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.

- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670.
- Hoffmann, M. & Scheid, N. (2007). Analogias como ferramenta didática no ensino de biologia. *Ensaio Pesquisa em Educação*, 9(1), 18-31.
- Hoffman, P. (2012). The tooth of time: Alfred Wegener. *Geoscience Canada*, 39, 102-111.
- Hubbert, K. (1945). Strength of the earth. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 29 (11), 1630-1653.
- Hubbert, K. (1951). Mechanical basis for certain familiar geologic structures. *Bulletin of the Geological Society of America*, 62, 356-372.
- Hulshof, H. & Verloop, N. (2002). The use of analogies in language teaching: representing the content of teachers' practical knowledge. *Journal of Curriculum Studies*, 34 (1), 77-99.
- Iannace, A. (2011). The neglected early history of geology: the copernican revolution as a major advance in understanding the earth. *Geological Society of America*, Forum comment, 246.
- Ibrahim, B.; Ding, L.; Molloy, K. & Stammen, A. (2016). Scientific reasoning: theory evidence coordination in physics-based and non-physics-based tasks. *African Journal of research in mathematics, science and technology education*, 20 (2), 93-105.
- Institute of Cartography and Geoinformation (2006). Terrain models. Disponível em URL: <http://www.terrainmodels.com/heim.html>, consultado em janeiro de 2016.
- Islas, S. & Pesa, M. (2003). Qué rol asignan los profesores de física de nivel medio a los modelos científicos y a las actividades de modelado? *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 57-66.
- Islas, S. & Pesa, M. (2005). The learning of modelling: a scientists' vision. In Developing formal thinking in *Physics (First International Girep Seminar-Selected contributions)*. Ed. Forum, Editrice Universitaria Udinese, 203-207.
- Jardine, R. (s/d). Boness pottery. Disponível em URL: <http://bonesspottery.co.uk/indp.html>, consultado em janeiro de 2016.
- JOC/EFR (2002). Robert Hooke. Disponível em URL: <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hooke.html>, consultado em dezembro de 2015.
- JOC/EFR. (2004). James Hutton. Disponível em URL: http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hutton_James.html, consultado em janeiro de 2016.
- JOC/EFR (2004). Georges Louis Leclerc Comte de Buffon
Disponível em URL: <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Buffon.html>, consultado em dezembro de 2015.
- Johnson-Laird, P. (1977). Procesural Semantics. *Cognition*, 5, 189-214.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models*. Cambridge: Harvard University Press.

- Junges, A. (2013) Desacordo racional e controvérsia científica. *Scientiae Studia*, 11(3), 613-635.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciências basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), 173-184.
- Justi, R. (2009). Learning how to model in science classroom: key teacher's role in supporting the development of students modelling skills. *Educación Química*, 20 (1), 32-40.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of "the atom". *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24 (4), 369-387.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2002b). Science teacher's knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling. In Learning Science. *International Journal of Science Education*, 24 (12), 1273-1292.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2003). Teacher's views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1369-1386.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2006). The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry. In Aubusson, P.; Treagust, D. & Harrison, A (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education*, 119-130.
- Kastens, A.; Manduca, A.; Cervato, C.; Frodeman, R.; Goodwin, C.; Liben, S.; Mogk, W.; Spangler, C; Stillings, A. & Titus, S. (2009). How geoscientists think and learn, *EOS*, 90 (31), 265-272.
- Khan, S. (2011). What's missing in Model-Based Teaching? *Journal of Science Teacher Education*, 22, 535-560.
- Koenigsberger, H. & Morath, O. (1913). Theoretische Grundlagen der experimentellen Tektonik. *Z. Deutsch. Geol. Ges*, 65, 65-86.
- Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: the development of scientific reasoning*. Cambridge: MIT Press.
- Koyi, H. (1997). Analogue Modelling: From a qualitative to a quantitative technique – a historical outline. *Journal of Petroleum Geology*, 20 (2), 223-238.
- Krapas, S. & Franco, C. (1997). Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2 (3), 185-205.
- Kravitz, G. (2017). The possible source of the causal time arrow in geo-historical explanations. *Geoscience Frontiers*, 8 (3), 555-564.
- Lakatos, E. & Marconi, M. (1991). *Fundamentos de Metodologia Científica*. 3. ed. São Paulo: Atlas.
- Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (2016). Disponível em URL:

http://www.lbgr.brandenburg.de/sixcms/detail.php/62_2657, consultado em fevereiro de 2016.

Laudan, R. (1977). Ideas and Organizations in British Geology: A case study in Institutional History. *Isis*, 68 (4), 527-538.

Laudan, R. (1987). *From mineralogy to geology: the foundations of a science, 1650-1830*. London: The University of Chicago Press.

Lavina, E. (2010). Alfred Wegener e a revolução Copernicana da geologia. *Revista Brasileira de Geociências*, 40 (2), 286-299.

Leboeuf, H. & Batista, I. (2013). O uso do “V” de Gowin na formação docente em ciências para os anos iniciais do ensino fundamental. *Investigações em Ensino das Ciências*, 18 (3), 697-721.

Lecture (s/d). Alphonse Favre. Disponível em URL: http://www.lectura.fr/expositions/payot/galleries/gal_chap3_p1/img11.jpg, consultado em janeiro de 2016.

Lederman, G.; Adb-Khalick, F.; Bell, R. & Schwarts, R. (2002). Views of nature of science questionnaire: toward valid a meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.

Lei n.º 46/1986 de 14 de outubro do Ministério da Educação e Ciência. Diário da República: I série, n.º 237 (1986).

Lei n.º 85/2009 de 27 de agosto do Ministério da Educação e Ciência. Diário da República: I série, n.º 166 (2009).

Leite, L. (2001). Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências. In Caetano, H. & Santos, M. (Org.). *Cadernos Didáticos de Ciências*.

Levin, H. (1996). *The Earth through time*. U.S.A.: Saunders College publishing.

Lima, M.; Marques, P.; Nunes, H.; Cavalcanti, E. & Silva-Cavalcanti, J. (2014). Proposta inovadora na aprendizagem da teoria da Tectônica de Placas no museu de Oceanografia de Serra Talhada, Pernambuco. *Terrae Didatica*, 10(2), 140-150.

Malavieille, J. (1984). Modélisation expérimentale des chevauchements imbriqués: application aux chaîne de montagnes. *Bull. Soc. géol. France*, 26, 129-138.

Malavieille, J. (2010). Impact of erosion, sedimentation, and structural heritage on the structure and kinematics of orogenic wedges: Analog models and case studies. *GSA Today*, 20 (1), 4-10.

Malavieille, J., & Konstantinovskaya, E. (2010). Impact of Surface Processes on the Growth of Orogenic Wedges: Insights from Analog Models and Case Studies. *Geotectonics*, 44 (6), 541-558.

Malavieille, J., Lu, C-Y., Chang, K-J., Konstantinovskaya, E., Bonnet, C., Mosar, J., Dominguez, S., & Graveleau, F. (2008). Impact of Surface Processes on The Dynamics of Orogenic Wedges: Analogue Models and Case Studies. *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 48, 238-242.

- Malavieille, J. & Trullenque, G. (2009). Consequences of continental subduction on forearc basin and accretionary wedge deformation in SE Taiwan: Insights from analogue modelling. *Tectonophysics*, 466, 377-394.
- Marques, L. & Praia, J. (1998). *Didáctica da Geologia e Formação de Professores*. (Coleção Formação de Professores: cadernos didáticos. Série Ciências 1). Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Marques, E.; Rebelo, D. & Marques, L. (2005). Episódios da história da geologia no contexto educativo: exemplo de materiais didáticos sobre princípios geológicos. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII congresso.
- Mateus, A. (2001). Perspectivas actuais da Geologia: Sua importância educativa. In Veríssimo, M. Pedrosa & Ribeiro R. (Coords.), *O Ensino Experimental das Ciências – (Re)pensar o Ensino* (pp. 107-128). Lisboa: Ministério da Educação.
- Mason, S. (1962). *A History of the Sciences*. New York: Collier Books.
- Mead, W. (1920). Notes on the mechanics of geologic structures. *The Journal of Geology*, 28 (6), 505-523. Acedido em novembro 19, 2013, em <http://www.jstor.org/stable/30063760>.
- Meunier, S. (1899). *La géologie expérimentale*. Paris: Ancienne Librairie Germer Baillière et cie.
- Michael J. (2012). This day in water history. Disponível em URL: <https://thisdayinwaterhistory.wordpress.com/2012/10/page/5/>, consultado em janeiro de 2016.
- Millar, R. & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. Londres: King's College London.
- McCallam, D. & Lyle, L. (2008). *Histoires de la terre: earth sciences and french culture 1740-1940*. Amsterdam: Faux Titre.
- McLaughlin, C.; Black-Hawkins, K. & McIntyre, D. (2004). *Researching teachers, researching schools, researching networks: a review of the literature*. University of Cambridge Faculty of Education.
- McNoleg, O. (1996). The integration of gis, remote sensing, expert systems and adaptive co-kriging for environmental habitat modelling of the highland haggis using object-oriented, fuzzy-logic and neural-network techniques. *Computers & Geosciences*, 22 (5), 585-588.
- Moore, E. & Twiss, R. (1995). *Tectonics*. New York: WH Freeman and company, 247-260.
- Morató, M. (1993). Homenaje a Tuzo Wilson. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(2), 71-79.
- Moreira, M. (1996). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(3), 193-232.
- Moreira, M. (2006). *Mapas conceptuais e diagrams em V*. Rio Grande do Sul: UFRGS.

- Moreira, M. (2007). Diagramas V e Aprendizagem significativa. *Revista Chilena Científica*, 6 (2), 3-12.
- Morgan, D. (1997). *Focus group as qualitative research*. Qualitative Research Methods series. 16. London: Sage Publications.
- Morris, B.; Croker, S.; Masnick, A. & Zimmerman (2012). Emergence of scientific reasoning (Chapter 4) in Kloos, H.; Morris, B. & Amaral, J. (2012). Current topics in children's learning and cognition. Tech
- Morrison, M. & Morgan, M. (1999). Models as mediating instruments. *Ideas in context*, 52, 10-37.
- Mota, T. (2001). The teaching of Geology through textbooks during the Estado Novo: dealing with stones in some old fashioned way. In Manuel Serrano Pinto (Eds.). *Proceedings of the 26th INHIGEO Symposium*. Aveiro: Universidade de Aveiro, p. 301-312.
- Mota, T. (2011). A Bursting Landscape in the Middle of Portugal: Theories and Experiments by Georges Zbyszewski. *Centaurus*, 53, 146-163.
- Mota, T. (2014). Spending some time in the field. Fieldwork in the portuguese geological survey during the twentieth century. *Earth Sciences History*, 33 (2), 201-213.
- Moutinho, S.; Torres, J.; Almeida, A.; Vasconcelos, C. (2013). Portuguese teachers' views about geosciences models. In Membiela, P. & Vidal, M. (Eds.). *Congreso Internacional sobre Investigación en didáctica de las Ciencias* (pp. 2430-2435). Girona.
- Moutinho, S.; Moura, R. & Vasconcelos, C. (2014). Modelação em geociências nos dias abertos às escolas. *Comunicações Geológicas*, 101 (Especial III), 1325-1328.
- Mozzer, N. & Justi, R. (2009). Introdução ao tema dissolução através da elaboração de analogias pelos alunos fundamentada na modelagem. *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 7, 1-12.
- Muñoz, E. (2012). Epistemología y gnoseología de la deriva continental, sobre su aceptación y de su rechazo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20 (1), 64-78.
- Nagem, R.; Carvalhaes, D. & Dias, J. (2001). Uma proposta de metodologia de ensino com analogias. *Revista Portuguesa de Educação*, 14 (1), 197-213.
- Nationalgalleries.org. (s/d). James Hall. Disponível em URL: http://www.nationalgalleries.org/collection/artists-a-z/K/3763/artist_name/Angelica%20Kauffmann/record_id/2826), consultado em janeiro de 2016.
- Neto, J.; Souza, L.; Silva, D. & Silva, F. (2015, maio). Utilização de analogias em aulas de química no ensino superior: o uso abusivo como efeito de contrato didático. *Periódico Tchê Química*, 12 (24), 35-41.
- Newcomb, S. (1990). Contributions of british experimentalists to the discipline of geology: 1780-1820. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 134 (2), 161-225.

- Newcomb, S. (2009). *The World in a Crucible: Laboratory Practice and Geological Theory at the Beginning of Geology, Special paper 449*. Boulder: Geological Society of America.
- Novak, J.D. e Gowin, D. B. (1999). *Aprender a aprender*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Oh, P. & Oh S. (2011). What teachers of science need to know about models: an overview. *International Journal of Science Education*, 33 (8), 1109-1130.
- Oreskes, N. (1999). *The rejection of continental drift: theory and method in American earth science*. New York: Oxford University Press.
- Oreskes, N. & LeGrand, H. (2001). *Plate tectonics: An insider's history of the modern theory of the Earth*. Westview Press.
- Oreskes, N. (2003). The role of quantitative models in science. In Canham, C.; Cole, J. & Lauenroth, W. (Eds.), *Models in Ecosystem Science* (pp. 13-31). Princeton: Princeton University Press
- Oreskes, N. (2007). From scaling to stimulation: changing meanings and ambitions of models In Creager, A., Lunbeck, E. & Wise, M. *Science without laws: model systems, cases, exemplary narratives* (pp. 93-124). Durham: Duke University Press.
- Orion, N. (1989). Development of a high-school geology course based on field trips. *Journal of Geological Education*, 37, 13-17.
- Orion, N. (1993). A model for the development and implementation of field trips as an integral part of the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 93 (6), 325-331.
- Orion, N. (2001). A Educação em Ciências da Terra. Da teoria à prática-implementação de novas estratégias de ensino em diferentes ambientes de aprendizagem. In Marques, L. & Praia, J. (Org.), *Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário* (pp. 93-114). Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Orion, N. & Fortner, R. W. (2003). Mediterranean Models for integrating Environmental Education and Earth Sciences through Earth Systems Education. *Mediterranean Journal of Educational Studies*, 8 (1), 97-111.
- Oxford University Museum of Natural History. (s/d). William Buckland. Disponível em URL: <http://www.oum.ox.ac.uk/learning/pdfs/buckland.pdf>, consultado em janeiro de 2016.
- Pablos, J. (2003). *La Tierra, objeto paradigmático: consecuencias epistemológicas de una confrontación entre tradiciones geológicas*. Tese doutoral. Departamento de Filosofía I Universidad Complutense de Madrid.
- Palmero, M.; Acosta, J. & Moreira, M. (2001). La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria. *Investigaciones em Ensino de Ciências*, 6 (3), 243-268.
- Panagiotaki, G.; Nobes, G. & Potton, A. (2009). Mental models and other misconceptions in children's understanding of the earth. *Journal of Experimental*

Child Psychology, 104, 52- 67.

- Park, R. (2005). *Foundations of structural geology*. London: Routledge.
- Paulcke, W. (1912). *Das experimente in der geologie*. Berlin: Verlag won Gebrader Borniraeger.
- Pedrinaci, E. (2001). *Los procesos geológicos internos*. Madrid: Editorial Síntesis, SA.
- Pedrinaci, E.; Sequeiros, L. & Torre, E. (1994). El trabajo de campo y el aprendizaje de la Geologia. *Alambique* 2. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Emilio_Pedrinaci/publication/39151656_El_trabajo_de_campo_y_el_aprendizaje_de_la_geologia/links/543d5bf80cf240f04d101212/El-trabajo-de-campo-y-el-aprendizaje-de-la-geologia.pdf.
- Peña, J. & catalán, J. (2004). A computer program for the simulation of folds of different sizes under the influence of gravity. *Computers & Geociences*, 30, 33-34.
- Pfaff, F. (1880). *Der Mechanismus der Gebirgsbildung*. Heidelberg: Carl Winter's Universitätsbuchhandlung.
- Pietrocola, M. (1999). Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4 (3), 213-227.
- Praia, J. (1999). O trabalho laboratorial no ensino das ciências: contributos para uma reflexão de referência epistemológica. *Ensino Experimental e Construção de Saberes*. Seminários e colóquios. Lisboa: Conselho Nacional de Educação, 55-75.
- Praia, J. (2000). *Didáctica da Geologia*. Porto: Universidade do porto. (não editada)
- Press, F. & Siever, R. (1999). *Understanding Earth*. 2th edição. New York: WH Freeman.
- Raab, T. & Frodeman, R. (2002). What is it like to be a geologist? A phenomenology and its epistemological implications. *Philosophy & Geography*, 5 (1), 70-81.
- Rath, S. (2003). *Die Erforschungsgeschichte der Eifel-Geologie - 200 Jahre ein klassisches Gebiet geologischer Forschung*. Tese de doutoramento pela Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
- Ranalli, G. (2001). Experimental tectonics: from Sir James Hall to the present. *Journal of Geodynamics*, 32, 65-76.
- Read, H. (1949). *Geology: An introduction to Earth-history*. London: Oxford University.
- Reade, T. (1886). *The origin of Mountain Ranges considered experimentally, structurally, dynamically and in relation to their geological history*. London: Taylor and Francis.
- Rebelo, D. & Marques, L. (2000). *O trabalho de campo em geociências na formação de professores: situação exemplificativa para o Cabo Mondego*. Formação de Professores. Cadernos Didáticos. Série Ciências 4. Aveiro: Universidade de Aveiro.

- Reyer, E. (1888). *Theoretische geologie*. Stuttgart: E. Schwerzerbartsche Verlagshandlung.
- Reyer, E. (1892). *Geologische und geographische experimente*. Leipzig: Wilhelm Engelmann.
- Ribeiro, M. (2002). História da ciência na construção de material didático: o caso da controvérsia neptunismo, vulcanismo e plutonismo (Dissertação de Mestrado). Porto: Universidade do Porto.
- Ritchie, S. (Ed.). (2009). *The World of Science Education: Handbook of research in Australasia*: Vol.2. Aubusson, P.; Treagust, D. & Harrison, A., "Learning and Teaching Science with Analogies and Metaphors". Rotterdam: Sense Publishers, 199-216.
- Robert, H. (1998). What is unique about geological reasoning?. *GSA Today*, 15-18.
- Rocha, T. (1996). O alcance do olhar. *Cadernos de Geociências*, 5.
- Rodríguez, R. (2010). Aprendizaje y enseñanza de la modelación: el caso de las ecuaciones diferenciales. *Relime*, 13 (4-I), 191-210.
- Roldão, M. C. (2000) *Formar professores: Os desafios da profissionalidade e o currículo*. CIFOP. Universidade de Aveiro.
- Rosenblueth, A. & Wiener, N. (1945). The role of models in science. *Philosophy of Science*, 12 (4), 316-321.
- Rosso, J. (2003). La deriva dels continents: reflexions sobre el seu rebuig i la seva relació amb la tectònica de plaques. Recull de conferències 2002, Societat Andorrana de Ciències, 1ª edició.
- Rudduck, J. (1988). Changing the world of the classroom by understanding it: a review of some aspects of the work of Lawrence Stenhouse. *Journal of Curriculum and Supervision*, 4 (1), 30-42.
- RundiĆ, L. (2012). Centenary anniversary of the theory of continental drift by Alfred Wegener and its significance for geosciences and the human society. *Bulletin of the Natural History Museum*, 5, 21-33
- Russ, J. (2000). Dicionário de Filosofia. Lisboa: Plátano Editora.
- Rath, S. (2003). *Die Erforschungsgeschichte der Eifel-Geologie* (Tese de Doutoramento). Universidade RWTH Aachen of Technology, Aachen.
- Sabouraud, C., Brunet, C., dick, P., & Rotaru, M. (s/d). *Les pionniers de la modelisation*. Dossier Sagascience GéoManips. Disponível em: http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01_decouvrir/06_pionniers/00_intro.htm. Acesso em 17/06/2011.
- Sales, A.; Coelho, L. & Sales, M. (2012). O uso de mapas conceituais na disciplina interação humano-computador. *Extensio*, 9(1), 66-72.
- Sandoval, W. & Reiser, B. (2004). Explanation-driven inquiry: integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88, 345-372.
- Santos, B. S. (1989). *Introdução a uma Ciência Pós-Moderna*. Porto: Edições

Afrontamento.

- Santos, M.; Sant'Ovaia, H.; Moreira, J. & Ribeiro, M. (2010). Evolução da abordagem da Tectónica de Placas nos manuais escolares do ensino secundário – dos anos sessenta à actualidade. *E-Terra*, 15 (9).
- Santos, S. & Teran, A.(2009). Possibilidades do uso de analogias e metáforas no processo de ensino-aprendizagem do ensino de zoologia no 7º ano do ensino fundamental. In *VIII Congresso Norte Nordeste de Ensino de Ciências e Matemática*, Boa Vista.
- Salvador, P. & Vasconcelos, C. (2007). Atividades outdoor e a alfabetização científica de alunos de um clube de ciências. *Linhas*, 8(2), 76-90.
- Sasseron, L. & Carvalho, A. (2011). Uma análise de referenciais teóricos sobre a estrutura do argumento para estudos de argumentação no ensino de ciências. *Ensaio*, 13 (3), 243-262.
- Schardt, H. (1884). Geological studies in the Pays-D'Enhant Vaudois. *Bulletin de la Société Vaudois des Sciences Naturelles*, 20(90), 139-167.
- Schellart, W. & Strak, V. (2016). A review of analogue modelling of geodynamic processes: Approaches, scaling, materials and quantification, with an application to subduction experiments. *Journal of Geodynamics*, 100, 7-32.
- Schumm, S. (2000). *To interpret the Earth. Tens ways to be wrong*. New York: Cambridge University Press.
- Science Learning Hub (2012). Paracelsus (1493-1541). Disponível em URL: <http://www.sciencelearn.org.nz/Contexts/Toxins/Sci-Media/Images/Paracelsus-1493-1541>, consultado em dezembro de 2015.
- Seel, N. (2017). Model-based learning: a synthesis of theory and research. *Education Tech Research Development*, 65 (4), 931-966.
- Sequeiros, L. (1994). La formación del professorado de Geología: nuevos saberes y nuevas tareas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2, (2 e 3), 318-324.
- Sequeiros, L.; Pedrinaci, E.; Álvarez, R. & Valdivia, J. (1997). Jame shutton y su teoria de la tierra (1795): consideraciones didácticas para educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5 (1), 11-20.
- Stenhouse, L. (1975). *An introduction to curriculum research and development*. London: Heinemann.
- Shapiro, M. (1985). Analogies, visualization and mental processing of science stories. Paper presented to the information Systems Division of the International Communication Association, 1-37.
- Shervais, J. (2001). Birth, death, and resurrection: the life cycle of suprasubduction zone ophiolites. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2 (1).
- SCHÖN, D. (1995). Formar professores como profissionais reflexivos. In: NÓVOA, A. (coord.) *Os professores e a sua formação* (77-91). Lisboa: Dom Quixote.

- Schumm, A. (2000). *To interpret the earth: ten ways to be wrong*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Silva, C. (2007). The role of models and analogies in the electromagnetic theory: a historical case study. *Science & Education*, 16 (7), 835-848.
- Silva, M. & Amador, F. (2002). Dos modelos históricos (história da geologia) aos modelos dos alunos. Um estudo exploratório sobre os modelos mentais respeitantes à origem, ao armazenamento e à circulação das águas subterrâneas, realizado com alunos do 12º ano do ensino secundário português. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (3), 205-214.
- Silva, V.; Moreira, N.; Soares, A.; Almeida, P.; Pereira, I.; Amaral, F.; Correia, J.; Sousa, F.; Pacheco, C. & Dias, R. (2012). Modelação analógica como recurso didático no CCVEstremoz; da prensa de Hubbert à Serra d'Ossa, passando pelo anticlinal de Estremoz. II Congresso Jovens Investigadores em Geociências. Estremoz, 01-04 novembro.
- Siman, L. (1998). O universo sociocultural dos alunos: elementos para compreensão e desenvolvimento do raciocínio histórico e geográfico. *Anais do XI Encontro Regional de História*, 236-237.
- Siman, L. (1999). A construção do conhecimento, do raciocínio histórico e cidadania nas crianças. *Encontro nacional dos pesquisadores do ensino de História*, 4, 598-605.
- Siris. (s.d.). *Hans Cloos*. Disponível em URL: <http://sirismm.si.edu/sia/image/SIA2008-0162.jpg>.
- Slomski, V. & Martins, G. (2008). O conceito de professor investigador: Os saberes e competências necessárias à docência reflexiva na área contábil. *Revista Universo Contábil*, 4(4), 6-21.
- Smith, C. (2005). Some Biogeographers, Evolutionists and Ecologists: Chrono-Biographical Sketches. Disponível em URL: <http://people.wku.edu/charles.smith/chronob/WILL1857.htm>, consultado em janeiro de 2016.
- Smithsonian (2016). Hans Cloos. Disponível em URL: <http://collections.si.edu/search/results.htm?q=Hans+Cloos&image.x=0&image.y=0>, consultado em março de 2016.
- Soylent Communications (2014). Abraham Gottlob Werner. Disponível em URL: <http://www.nndb.com/people/244/000103932/>, consultado em dezembro de 2015.
- Soylent Communications (2016). Louis Agassiz. Disponível em URL: <http://www.nndb.com/people/774/000082528/>, consultado em fevereiro de 2016.
- Stanley, S. (1998). *Earth System History*. United States of America: W. H. Freeman and Company.
- Takeuchi, H.; Uyeda, S. & Kanamori, H. (1974). *A Terra um planeta em debate*. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo.

- Terrain Models. (s.d.). *Albert Heim (1849-1937)*. Disponível em URL: <http://www.terrainmodels.com/heim.html>, consultado em fevereiro de 2016.
- The coming global oil crisis. (s.d.). *M. King Hubbert*. Extraído de <http://www.hubbertpeak.com/hubbert/>, consultado em fevereiro de 2016.
- The Geological Society of London. (2012a). Frederick Vine and Drummond Matthews. Disponível em URL: <http://www.geolsoc.org.uk/Plate-Tectonics/Chap1-Pioneers-of-Plate-Tectonics/Vine-and-Matthews>, consultado em janeiro de 2016.
- The Geological Society of London. (2012b). John Tuzo Wilson. Disponível em URL: <https://www.geolsoc.org.uk/Plate-Tectonics/Chap1-Pioneers-of-Plate-Tectonics/John-Tuzo-Wilson>, consultado em janeiro de 2016.
- Today in Science History (1999). Leopold von Buch from *The Founders of Geology* (1897). Disponível em URL: [http://todayinsci.com/B/Buch_Leopold/BuchLeopold-FoundersOfGeology\(1897\).htm](http://todayinsci.com/B/Buch_Leopold/BuchLeopold-FoundersOfGeology(1897).htm), consultado em dezembro de 2015.
- Torres, J.; Amador, F. & Vasconcelos, C. (2016). Developing prospective science teachers' views of nature of science: the scientific models. *Nature of science: history, philosophy and sociology of science*. Conference paper.
- Torres, J.; Moutinho, S. & Vasconcelos, C. (2015). Nature of science, scientific and geoscience models: Examining students and teachers' views. *Journal of Turkish Science Education*, 12(4), 3-21.
- Torres, J.; Moura, R.; Vasconcelos, C. & Amador, F. (2013). Nature of science, models and earth structure model: portuguese prospective science teachers' views. *SGEM2013 Conference Proceedings*, Albena, Bulgária, 8.
- Torres, J. & Vasconcelos, C. (2013). Evolução histórica dos modelos da estrutura interna da Terra: visões de professores de ciências. *Atas do Colóquio História da Ciência para o Ensino*, 49-60.
- Torres, J. & Vasconcelos, C. (2014). Os modelos e a modelação na formação inicial de professores de Biologia e Geologia. *Comunicações Geológicas*, 101 (Especial III), 1391-1394.
- Treagust, D.; Chittleborough, G. & Mamiala, T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24 (4), 357- 368.
- Trümpy, R. & Westermann, A. (2008). Albert Heim (1849–1937): Weitblick und Verblendung in der alpentektonischen Forschung. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 153(3-4), 67-79.
- Turner, D. (2013). Historical geology: Methodology and metaphysics. *Geological Society of America Special Papers*, 502, 11-18.
- University of Liverpool. (s/d). Thomas Mellard Reade. Disponível em URL: <http://liv.ac.uk/library/sca/colldescs/readetm.html>, consultado em janeiro de 2016.

- U. S. Geological Survey. (s/d). Glomar Challenger. Disponível em URL: <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/glomar.html>, consultado em janeiro de 2016.
- U.S. Geological Survey (s/d). This dynamic planet. Disponível em URL: <https://pubs.usgs.gov/imap/2800/TDPfront.pdf>, consultado em janeiro de 2016.
- Vai, G. & Caldwell (2006). *The origins of geology in Italy*. (eds). USA: The Geological Society of America.
- Van Driel, J. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modeling in science. *International Journal of Science Education*, 21, 1141- 1153.
- Vasconcelos, C. (2015). Analogias, Similaridades e Réplicas: Diferentes modelos para o ensino da geologia. *1º Encontro de História da Ciência no Ensino* (pp. 2-14). Trás-os-Montes: UTAD.
- Vasconcelos, C. & Torres, J. (2015). A modelação no ensino das ciências naturais. Workshop apresentado no XVI ENEC, 10, 11 e 12 de setembro, em Lisboa.
- Vasconcelos, C.; Fonseca, P.; Moura, R.; Silva, C.; Cachão, M.; Lima, A. & Almeida, A. (2015). Modelação na aula de Geologia do Ensino Superior: Investigação e Ensino. Experiências de inovação didática no ensino superior. Ministério da Educação e Ciência. Gabinete do Secretário de Estado do Ensino Superior, 81-96.
- Vasconcelos, C. (2014). O papel dos modelos e a estratégia da modelação no ensino da geologia: novas questões para a investigação educacional. In *Livro de Resumos do XV Encontro Nacional de Educação em Ciências* (p. 22), Faro, Portugal, 2-5 março 2014.
- Vasconcelos, C. & Gomes, C. (2014). A modelação na aula de Geologia. *GEOlogos*, 11, 7-14.
- Vasconcelos, C.; Faria, J.; Almeida, A. & Dourado, L. (2014). Geology in the Lab: Preliminar studies for validating a checklist for analysing modelling activities in textbooks. In *Proceedings of ICERI 2014 Conference* (pp. 2571-2577), Sevilha, Espanha, 17-19 de novembro 2014.
- Veiga, L. & Gondim, S. (2001). A utilização de métodos qualitativos na ciência política e no marketing político. *Opinião Pública*. 2(1), 1-15.
- Virgili, C. (2007). Charles Lyell and scientific thinking in geology. *Comptes rendus-Géoscience*, 339, 572-584.
- Virella, F. & Serrano, F. (1991). *Processos Geológicos Internos*. Madrida: Editorial Rueda.
- Vosniadou, S.; Skopliti, I. & Ikospentaki, K. (2004). Modes of knowing and ways of reasoning in elementary astronomy. *Cognitive Development*, 19, 203- 222.
- Wegener (1966). The origin of continents and oceans. New York: Dover Publications, Inc. Traduzido por John Biram.
- Wegener, A. (2002). The origins of continentes. *International Journal Earth Science*. 91, 4-17. Traduzido por Roland von Huene.

- Wells, H. (1895). *The Time Machine: An Invention*. New York: Henry Holton and Company.
- Wellington, J. (2000). *Teaching and Learning Secondary Science: contemporary issues and practical approaches*. London: Routledge.
- Willis, B. (1893). The mechanics of Appalachian structure. *United States Geological Survey Annual Report*, 13(2), 211-281.
- Wilson, J. (1968). Revolution dans les Sciences de la Terra, *Vie et Milieu*, XIX, 2B, 395-424. (trad. Domingo, C. (1993). Revolución en las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1 (2), 72-79.
- Wolf, A. (1999). *A history of science, technology and philosophy in the 18th century*. Vol 2. England: Thoeme Press.
- Wong, E. D. (1993). Self generated analogies as a tool for constructing and evaluating explanations of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 367-380.
- Woolhead, J. (1999). *Geology*. California: Salem Press, Inc, 53-61.
- Wyllie, P. (1995). *A Terra. Nova Geologia global*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- YPS. (s/d). William Smith. Disponível em URL: <http://www.ypsyork.org/resources/yorkshire-scientists-and-innovators/william-smith/>), consultado em janeiro de 2016.
- Zeichner, K. (1993). *A formação reflexiva dos professores: ideias e práticas*. Lisboa: Educa.
- Zeitoun, H. (1984). Teaching scientific analogies: A proposed model. *Research in Science and Technological Education*, 2, 107-125.

Apêndices

***Apêndice I – Transcrição da Entrevista ao professor doutor Rui
Dias***

No livro tectoniks tem uma coisa que é: a geologia tem um problema. Este problema é que a geologia trabalha com milhões de anos e portanto, o método científico teve de ser profundamente alterado. Uma coisa gira, referida nesse capítulo, é que eles trocaram, na geologia, tempo por espaço. O que quer dizer trocar o tempo por espaço? O ciclo de Wilson demora cerca de 300 milhões de anos, portanto, não é possível simular nem é possível observar o ciclo de Wilson em lado nenhum e então o que eles fazem é: andam muito fora a observar aquilo que eles consideram que são os estádios diferentes de diferentes ciclos de Wilson, mas não no mesmo ciclo. Quando vão, por exemplo, ao sudoeste africano vêm a fase de rifte, eles vão ao mar vermelho, vêm a fase de nascimento de um oceano, saltam 3000km vêm a destruição de um oceano. Isto é uma adaptação do método científico ao problema da geologia.

1. Se só no séc. XVIII é que a geologia é considerada uma ciência autónoma, a partir de então, que métodos eram usados para descobrir o conhecimento?

Eu não sou especialista nisto, tenho lido muito sobre o assunto, é uma coisa que me preocupa... para já, há uma altura que é pré-método científico e não é século XVIII, é anterior. Em que a ciência era tratada de forma diferente. Por exemplo, temos o exemplo de Kircher, que aparece em todos os livros, com a terra oca com diversos vulcões ligados a fogos internos e que atualmente isso seria inconcebível fazer. A partir do estabelecimento do método científico cada pessoa deixou de poder imaginar aquilo que lhe passava pela cabeça. Mesmo quando vem a imaginar, penso que foi o Kant, a nebulosa protossolar, que por acaso até acertou, mas não foi uma aproximação científica do método. Outro exemplo relacionado com isso: Wegener, não foi de modo nenhum o primeiro a propor a Pangea. Cerca de 150 a 200 anos antes de Wegener houve quem verificasse que os continentes encaixavam, aliás pouco depois dos descobrimentos, quando se realizou a cartografia com algum rigor a costa atlântica. Mas o que é que foi diferente dos outros? Enquanto os outros faziam puzzles, ele ia pesquisar, introduzindo provas científicas, o que diferencia a ciência e o método científico é ser é preditivo. O que diferencia a ciência e o método científico é que faz um modelo e vai ver se o que prevê acontece ou não. E o que torna os modelos interessantes é tu poderes prever a partir dos modelos o que pode acontecer.

Eu aqui metia uma fase anterior a esta, aqui tens a geologia e o Hutton e a geologia que nasce como ciência independente. Antes disso temos uma outra fase em

que já há ciência, mas que as pessoas faziam um pouco de tudo, sabiam um pouco de tudo. Para já o conhecimento era muito mais restrito. O que permitia que Galileu, por exemplo, olhava para o céu e observava uma supernova já era astrónomo. A inquisição proibia-o de se ligar à astronomia e ele passava a fazer trabalhos de ótica, como fez, e tem grandes contributos de ótica.

Há uma parte anterior ao Hutton e ao começo da geologia que tu tens quem faça ciência, mas eram polivalentes. E depois tens a parte anterior ao método científico que era o reino da filosofia. Galileu é um dos que começa a utilizar o método científico e traça uma fronteira entre o que a ciência pode fazer e o que a ciência não pode fazer. Por exemplo, religião e ciência não tem problema nenhum. Há montes de Nobel que são religiosos, por uma razão muito simples: o método científico não funciona com Deus. Como uma pessoa não pode abordar o problema de Deus com o método científico, o problema de Deus é uma questão de fé. Aqui o que acontece durante o séc. XVIII é que algumas ciências começaram a ter um desenvolvimento muito grande e começaram a autonomizar-se e, portanto foram cada vez mais autonomizando. No século XVIII, temos Hutton que era um geólogo generalista, eu agora já não sou geólogo, sou estruturalista e dentro destes ainda existem os que são do varisco. Eu penso que aqui o que nasce é que o conhecimento tem evoluído suficientemente para que tu possas ter uma profissão de geólogo, digamos assim.

1.1 O mesmo geólogo, para resolver diferentes questões recorria a métodos diferentes? Ou seguia apenas um?

Eles utilizam essencialmente o método científico. O que acontece é que eles depois têm de adaptar o método científico. Por exemplo, o problema de a geologia trabalhar com milhões de anos, não se punha no século XVIII, porque nesta altura não se fazia ideia nenhuma de que a história da Terra tinha milhões de anos e, portanto a Terra não seria tão diferente para a geologia como seriam as outras ciências. O que torna a geologia tão diferente das outras ciências tem haver com o conceito temporal. Aí aproxima-se mais da astrofísica e coisas do género.

A partir de Galileu, usamos o método científico, aliás Hutton, tem escrita nos diários dele, anterior a ele ir a Siccarpoint a discordância que irá observar no campo. Tens uma frase de Karl Popper, penso eu, que diz que “os olhos não veem o que a mente não antecipa”. E o Hutton, já, e isso é uma evidência do método científico, fazia

as suas observações e com base nas suas observações elas eram preditivas. Ele previu que deveria existir na terra algo semelhante a uma discordância entre dois ciclos orogénicos e quando chegou a Siccarpoint ele percebeu o que observava.

Eu não acho que se consiga provar a verdade, até porque há uma parte do método científico que diz que eu tenho uma série de dados e com base nesses dados eu consigo interpretar da maneira mais simples. Esta característica do método põe um problema porque a natureza não tem de seguir a maneira mais simples. Por exemplo, se eu chegar a uma qualquer barreira da estrada e vir uma camada assim / e depois tenho um bocado que não vejo mais nada e depois a seguir vejo um bocado mais à frente uma camada paralela à primeira, o método científico a única coisa que pode dizer é que aquilo é um monoclinal de camadas todas paralelas porque não me permite, até eu ter algum dado, que elimine isso dizer que aquilo é uma dobra ou uma falha... portanto, o dizer provar a verdade de uma hipótese tenho algumas dúvidas. Sinceramente não tenho muita opinião agora sobre o método dedutivo ou indutivo. A professora Clara terá muito mais à vontade para falar nisso do que eu. Depois é possível que também exista uma grande diferença entre processos geológicos que tenham haver com a tectónica de placas e processos geológicos que não tenham haver com a tectónica de placas, que tenham haver, por exemplo, com o ciclo hidrológico. Porque há uma diferença fundamental entre os dois que é: o ciclo hidrológico é um ciclo rápido, portanto, os processos que ocorrem nos ciclos hidrológicos têm normalmente ordem de grandezas semelhantes aos nossos ciclos de vida e por isso essa parte da geologia que lida com processos ligados aos ciclos hidrológicos não entram em rutura com a nossa experiência do dia a dia, são muito mais próximas. E as coisas que verdadeiramente são diferentes são os processos ligados ao ciclo tectónico. Por exemplo, é muito fácil, para as pessoas normais, perceberem fenómenos sedimentares e fenómenos hídricos é brutalmente difícil perceberem fenómenos metamórficos. Porquê? Porque os fenómenos sedimentares e os fenómenos hídricos, os ciclos em que acontecem, tem muitas semelhanças com o que assistimos no dia a dia. Todos nós sabemos que se eu colocar um copo de vidro num forno muito quente, ele funde. E se baixar a temperatura ele solidifica. Quando se passa para as rochas metamórficas, e estas dizem que uma rocha se transforma noutra no estado sólido, isso é milagre. Porque nós não estamos habituados a ver processos em que as coisas se transformam umas nas outras no estado sólido. E, portanto, eu julgo, e mais uma vez digo que não sou teórico nisso, que não sei até que ponto fará sentido falar num método em geologia, num que sirva para a geologia toda ou até que ponto a geologia não poderá ter a necessidade de ter vários

métodos consoante eu consigo perceber ou não isso. Por exemplo, há uns anos atrás o ministério deu umas diretrizes, numa daquelas reformas curriculares, em que os professores poderiam escolher se queriam ensinar rochas sedimentares, metamórficas ou ígneas. 70% do país é composto por rochas metamórficas, mas os professores quase todos escolhiam ensinar rochas sedimentares ou ígneas porque são aquelas que não entram em colisão com os nossos sentidos. E, portanto, quando eu quero ir para um laboratório simular coisas ligadas ao ciclo hidrológico é uma coisa, se quiser ir para um laboratório simular coisas relacionadas com o ciclo tectónico, o problema é completamente diferente porque as dimensões temporais são completamente diferentes. Por exemplo, se eu quiser simular uma avalanche em laboratório, o problema essencial que eu vou ter é a dimensão do modelo, dimensão espacial, geográfica. Se eu quiser simular uma zona de subducção eu tenho a dimensão geográfica e tenho logo o problema da gravidade (quando faço um modelo reduzido a gravidade é toda a mesma e na natureza não é) mas também passo a ter acrescido a dimensão temporal. E mesmo que eu faça experiências que demorem um ano, o que acontece é que eu depois vou extrapolar aquilo que demorou um ano para uma coisa que na natureza demora 10 milhões de anos. E, portanto, eu julgo que o método científico tem adaptações diferentes.

1.2 A geologia foi considerada uma ciência moderna partir do século XIX, houve alteração no tipo de métodos utilizados pelos geólogos? Quais foram os métodos, por eles, utilizados a partir do século XIX?

1.3 No Século XX, fase da ciência contemporânea, a dedução é o método defendido para as ciências experimentais, qual é o método defendido para a geologia?

1.4 A indução ou dedução são os métodos de sistematização lógica do conhecimento científico. Os geólogos concluem induzindo ou deduzindo? Ou é um misto?

2. A geologia é referida muitas vezes como sendo causal, hermenêutica e histórica.

2.1 O que entende por estas definições?

Há um ensaio de *Stephan Jay Gould* de um livro dele “Fall in the house of Ussher”. Ussher foi um arcebispo que disse que a terra tinha cerca de 6 mil anos. E o *Stephan Jay Gould* tem um ensaio que diz que o Ussher, que é ridicularizado normalmente a nível dos geólogos, prestou um contributo fenomenal à geologia. Porque o Ussher ao ter metido uma idade na terra, não interessa se a idade estava certa ou errada, fez com que a geologia se tivesse tornado histórica porque se eu não tenho uma dimensão temporal, então eu não consigo hierarquizar processos geológicos.

Relativamente ao causal... baralho-me aí... mas mais uma vez, varia consoante os processos que estou a estudar.

Quanto a ser hermenêutica, interpretativa, isso é banal. Não tem a ver propriamente com a geologia. Por exemplo, se colocar um frigorífico no iglo de um esquimó eu duvido que o esquimó irá descobrir o que é um frigorífico, o conceito para ele nem sequer faz sentido. Para mim, é evidente que tu tens de perceber um determinado fenómeno para o conseguires visualizar. É aquela tal frase, que eu te disse que penso que é de Popper, “os olhos não vêem o que a mente não antecipa”. Se eu não conseguir perceber o que lá está, simplesmente aquilo não faz sentido para mim.

A interpretação é uma constante na atividade do geólogo, está sempre a interpretar. Nós olhamos para a rocha e vemos as estruturas sedimentares e a partir daí interpretamos, também deduzindo, claro. Há muitas coisas que se deduzem, por exemplo, uma sequência que está interrompida, nós sabemos que, um dos princípios básicos da geologia é o princípio do uniformitarismo. Os processos que acontecem no presente aconteceram no passado, a amplitude pode não ser a mesma, mas os mecanismos e os processos são semelhantes ao do passado. E havendo uma interrupção nós deduzimos. A sequência seria esta, mas falta aqui algo e então vamos interpretar porque falta. O que aconteceu, qual foi o fenómeno que retirou. Há medida que se vai fazendo observações está-se permanentemente a interpretar e a deduzir. O geólogo trabalha muito com hipóteses e consoante os dados vão-se acumulando, o geólogo vai ou não refutando as hipóteses.

Há aí alguns conceitos que eu pura e simplesmente não domino e é-me difícil falar sobre isso. Agora sobre o tempo em geologia, parte histórica, estou mais à vontade. Por exemplo, há um ensaio de *Stephan Jay Gould* sobre o Newton muito interessante. Newton opôs-se ao Hutton e aos outros porque enquanto o Hutton e Lyell falavam em tempo infinito, Newton, que não era geólogo, arrasa por completo Hutton, num artigo de uma página e meia, mas que é de uma soberba tal porque está a arrasar uma classe, ao fazer as contas e afirmar que a terra tem cerca de 50 milhões de anos. Nesse artigo

Stephan Jay Gould ataca muito o Newton por ter feito isso. Eu agora estou a ler um livro “Dynamic Earth” de Geoffrey Davies, em que tem uma postura totalmente diferente sobre isso. Ele diz que o Newton tinha acabado de contribuir para estabelecer as leis da termodinâmica e do ponto de vista da física, era uma barbaridade atroz vir falar num tempo infinito. Porque era como se a terra fosse uma máquina de movimento perpétuo e para um físico como Newton era um conceito completamente absurdo. Daí o Newton ter-se dedicado a fazer as continhas para provar que a terra tinha uma idade. As contas estavam erradas porque ele baseou-se numa terra com condução e a terra se tivesse convecção as contas seriam diferentes. Mas, portanto, o conceito de tempo e de ciência histórica em geologia tem o problema associado, que quando vou falar no sistema tectónico, não é uma máquina de movimento perpétuo mas está a funcionar à 4 mil 570 milhões de anos e mais uma vez chegamos à noção de tempo. Ela não é de movimento perpétuo mas o tempo que demora a funcionar está muito para além do que conseguimos conceber. E portanto, esta parte histórica da geologia demorou muito tempo, realmente, a nós conseguirmos lidar com ela e conseguirmos encará-la.

Há um exemplo, muito giro, uma das primeiras tentativas da determinação da idade da terra é do conde Buffon, sob o arrefecimento das esferas. Há duas coisas que eu acho deliciosas, uma é uma curiosidade. Na altura não havia termómetros e portanto, era necessário deixar arrefecer as esferas até à temperatura ambiente e ele então usava, para ver se as esferas estavam à temperatura ambiente ou não, donzelas de pele delicada (isto que estou a dizer está citado no artigo) para conseguirem agarrar nas esferas e medir (isto é uma curiosidade!). Mas a parte que tem haver com o tempo é que, a ordem de grandeza é mais ou menos esta, o Buffon fez as contas e dava-lhe cerca de 1 milhão de anos, mas no artigo que ele publica refere, penso, cerca de 75 mil anos. Atualmente, isso seria uma fraude científica porque tu não podes fazer uma experiência e dar uma coisa e depois publicares outra. Mas na altura a ciência funcionava de maneira diferente. E o Buffon, no diário dele escreve que as contas davam 1 milhão de anos, mas que acha que era muito mais do que isso no entanto, a mente humana não estava preparada para perceber a dimensão daquele número. E realmente, nós não fazemos ideia nenhuma do que é 1 milhão de anos. Portanto, ele acaba por publicar 75 mil anos, sabia que era um número muito abaixo do que realmente era, única e exclusivamente porque a nossa mente não estava preparada para tempos tão grandes.

Quando falas aí, que a geologia é uma ciência histórica, começa logo pela definição em que a parte histórica não tem haver com os historiadores e os arqueólogos porque a geologia não é nem histórica nem pré-histórica, é um tempo geológico que

está para além que a nossa mente tem capacidade para perceber, e aí Buffon tinha inteiramente razão. Nós não conseguimos ver ciclos desta dimensão e portanto, a palavra histórica está aí, na perspetiva de que é uma sequência cronológica de acontecimentos e é por isso que se utiliza o conceito histórico. O conceito de tempo geológico é algo que é realmente cronológico. Se eu fosse escrever um livro colocava o termo histórico entre aspas e explicava porque estava lá as aspas. É muito mais uma questão cronológica, de hierarquizar fenómenos do que propriamente de tempo histórico. Nós não sabemos o que são milhões de anos.

2.2 *Que tipo de raciocínio esta implícito em cada uma destas vertentes?*

3. *Quais as características do raciocínio científico? Como é o raciocínio particular do geólogo? Qual o tipo de raciocínio de um geólogo?*

Eu penso que, o método científico acaba por ser um espartilho que tenta fazer com que a gente não deixe que as nossas emoções interferir naquilo que estamos a fazer. O método científico parte daquilo que são factos e os factos é aquilo que cientistas, com experiências afins, vêm como a mesma coisa. Por exemplo, eu quando classifico um granito isso é um facto. Porque qualquer petrólogo quando olha para aquela rocha e a descreve com um granito, isso é um facto. Se eu medir um eixo de uma dobra como uma bússola e disser que o eixo mergulha 30° para 240 qualquer geólogo com uma bússola e saiba medir obterá o mesmo valor, portanto, isso é um facto. Em cima desses factos, o método científico diz que nós somos livres de fazer as hipóteses. As hipóteses têm de ser testadas e se não forem testadas eu não estou a fazer ciência e é por isso que eu não posso estudar Deus. Eu posso falar sobre Deus, em que a opinião de cada um vale o mesmo. A ciência não se baseia com opiniões.

Mais uma vez Stephan Jay Gould tem um artigo muito giro em que dá um exemplo, que eu acho que é bastante interessante, que é o seguinte: ele dá várias hipóteses sobre a extinção dos dinossauros. Uma das hipóteses que ele cita, é que a extinção se deveu a um impacto de um meteorito. Outros afirmavam que os dinossauros se extinguiram pouco depois do aparecimento das angiospérmicas. As plantas com flores têm uma série de produtos químicos que não são elimináveis facilmente pelos fígados e portanto, os dinossauros extinguiram-se com uma overdose de plantinhas. Aqui há um facto, aparecem as plantas, pouco depois desaparecem os dinossauros. Os outros, vão buscar um estudo com aligatores dos Estados Unidos em que consoante a

temperatura, os testículos funcionam ou não funcionam ou os ovos só saem machos. O que eles fazem é que, agarram nisso que é um facto. Agarram no facto de que no final do cretácico a temperatura subiu muito e então dizem que os dinossauros se extinguíram por causa disso. Stephan Jay Gould diz, que dessas três hipóteses só uma é que é científica, que é a do impacto do meteorito. Porquê? Porque essa é testável. A hipótese que diz que os fígados não aguentaram as plantinhas, não é científica, mesmo sendo verdadeira, porque não temos os fígados dos dinossauros para testar. E a hipótese do aumento da temperatura e dos testículos, também não é científica porque nunca ninguém testou os testículos.

Portanto, aquilo que digo sobre a pergunta que fizeste não é tanto a minha opinião, mas é aquilo que eu pratico ou tento praticar baseado naquilo que leio. Aquilo que eu faço, quer quando ando no campo, quer quando estou a ler um trabalho feito por alguém, é verificar se são factos ou se não são factos. Quando se escreve um artigo científico, tem de estar muito bem separado o que são factos e o que são interpretações e as hipóteses ou as interpretações têm de ser testadas. Porque se não forem testadas, não pertencem ao reino da ciência, pertencem ao reino da fé. Depois há outra coisa, os modelos que nós apresentamos têm de ser simples ou têm de ser o mais simples possível para explicar os factos. O modelo do impacto de meteorito pode não parecer simples, mas foi a ideia mais simples possível, que aqueles cientistas conseguiram arranjar para explicar uma anomalia de irídio, que é um elemento químico muito raro à superfície terrestre. Apesar de conceber o impacto de meteorito, que não é uma hipótese simples, era a mais simples possível e era testável, de tal maneira que se acabou por encontrar o impacto.

Por isso, em termos da tua pergunta diria, tem de haver factos, sem factos não há ciência. Relativamente aos factos temos de estar todos de acordo. A partir do momento em que duas pessoas que percebem do assunto um diz que sim e outro diz que não, aquilo deixou de ser facto. Com base nos factos, construímos as hipóteses e pelo facto das hipóteses necessitarem de ser o mais simples possível, colocamos logo em causa que a verdade pode ser muito mais complicada do que aquilo que estamos à espera. E depois, aquelas hipóteses têm de ser testadas, porque se não forem testáveis não são ciência. Eu conheço n trabalhos de n colegas que estão a ser feitos agora que não são ciência. Partem de preconceitos, já têm a história feita e depois andam a deturpar, a adaptar o que se vê. Embora haja aquela frase “não somos observadores inocentes”, portanto, quando olho para uma coisa eu olho baseada na minha experiência e por isso um esquimó da Gronelândia não consegue olhar para um frigorífico e dizer que é um frigorífico, para ele é um armário, porque não consegue sequer conceber que haja

alguém que faça uma máquina capaz de fazer frio. Assim, nós não somos observadores inocentes, mas em princípio, na parte de recolha dos factos, temos de ser observadores experientes para saber separar o que é um facto e o que não é.

Não há alternativa a fazer ciência, se o método científico deixa-se entrar no campo da divagação por aí fora, então deixávamos de fazer ciência e passávamos a fazer romancismo.

4. Fala-se muito dos métodos de investigação geológica, independentemente de serem dedutivos ou indutivos, como o método de campo ou de modelação análoga. Qual o que prevalece? Há quem afirme que as conclusões obtidas com os modelos, mesmo se análogos, podem ser falácias, mas as observações/evidências de campo também podem ser interpretadas com teorias diferentes. Serão as conclusões obtidas por estes dois métodos possíveis falácias, ou terão a objetividade necessária à produção científica?

Tenho sempre um horror a essas definições muito taxativas. Assim à primeira dizia que deveria de haver mais uma série deles. Eu e o Carlos somos essencialmente geólogos de campo e, portanto ao trabalharmos na parte da análise estrutural e depois daí tentarmos chegar à dinâmica e à tectónica de placas faz de nós extremamente dependentes do campo. Mas estou a imaginar, por exemplo, os petrólogos que vão ao campo e apanham uma pedra e, portanto o trabalho de campo deles resume-se em ir ao campo e depois a seguir vão para o laboratório fazer lâminas delgadas, análises químicas e inúmeras coisas e eu penso que nada disto está aí. Penso que falha aí nesta alternativa porque está a pôr ou a recolha de dados de campo ou a experimentação. E na experimentação estou a ver ainda algumas limitações porque está a pôr modelação análoga e estás a assumir que eu não posso chegar aos processos geológicos a não ser por analogias. Estás logo a por de lado a hipótese de eu experimentar mesmo o processo geológico. Se eu for para tectónica de placas, aí já tem de ser análogo, porque eu não posso estar milhões de anos no laboratório eu tenho de fazer modelação análoga, mas há uma série de processos geológicos que ocorrem em período de tempo curto que podem ser experimentados no laboratório. E, portanto, eu julgo que há muita coisa que não está aí. Falta toda a recolha de dados que não é feito no campo, e que é tão válida como a que a gente faz. Aliás, a gente não vive sem esses colegas. Quando vamos para o campo recolher dados, muitos dos dados que estamos a recolher são

baseados nos petrólogos, por exemplo. Está a deixar isto de fora e depois está a deixar a experimentação mesmo geológica que não é análoga.

Não vejo porque é que processos como as avalanches não podem ser feitas em laboratório! Eu posso fazer avalanchas em laboratório. Mas podes dizer-me, mas não é a grande avalanche do Afeganistão e eu digo está bem, é a pequena avalanche ali da barreira do Castelo do Queijo. Isto é modelação, mas não análoga. O meu problema é o termo análogo porque pressupõe logo que eu não posso usar material geológico. Se eu quero ver como é que se fratura um maciço rochoso à superfície, qual é a orientação do maciço rochoso à superfície e o campo de tensões, eu posso ir para uma prensa e usar rochas. Aliás, os engenheiros civis quando querem fazer uma ponte eles experimentam com as próprias rochas. E portanto, eu poderei usar os mesmos materiais.

Eu penso que o análogo é obrigatório se eu estou a simular fenómenos geológicos que duram milhões de anos, se eu estiver a simular fenómenos geológicos muito mais curtos poderei ter de ir pela análoga ou não. Se eu quiser simular um escorregamento eu tenho de fazer um modelo laboratorial de menores dimensões se eu quiser simular fraturas associadas a sismos ou coisa do género, são fenómenos muito mais rápidos e aí eu não terei de ir necessariamente de ir pela análoga.

5. *Afinal, a geologia é uma ciência autónoma ou não tem método próprio e apoia-se nos métodos de outras ciências como, por exemplo, nos métodos da geofísica e da geoquímica?*

Neste momento, qualquer que seja a ciência, o grau de complicação a que se chegou é tamanho que qualquer ramo da ciência tem de se apoiar noutros. Deixaram de existir fronteiras entre as ciências. Dantes tínhamos os químicos e os biólogos, agora já temos os bioquímicos. Penso que atualmente o grau de especificação a que se chegou é de tal ordem elevado que já não se consegue fazer ciência sem se apoiar noutra. Não será mais possível ter um Leonardo Da Vinci ou um Galileu que faziam um pouco de tudo porque hoje isso é impossível. A partir do momento que começaste a estudar as rochas, algo típico da geologia, começaste a ver que não chegava dizer que aquilo era um basalto já era necessário fazer análises químicas para dizer que se aquilo era um basalto dos fundos dos oceanos ou se era um basalto dos riftes, ou se era um basalto das subducções, já começaste a ter de ir a detalhes de química e então surgem os geoquímicos. A partir do momento que já não bastava estudar as rochas cá de cima

e começaram a estudar as rochas lá de baixo, foi-se buscar os físicos. E portanto, neste momento o que acontece é que somos especialistas num domínio e depois passamos a ir buscar colegas. Sei generalidades de química e de física, mas se quiser fazer investigação tenho de ir buscar um geoquímico ou um geofísico. O renascimento acabou. Aquela cena em que um pintava um quadro e depois ia fazer experiências cheias de bacoradas isso já não existe. Mesmo cá em Portugal há os colegas do Alpino e os colegas do Varisco. Cada vez começa-se a especializar mais.

***Apêndice II – Teste sobre a formação de cadeias montanhosas:
o caso dos Himalaias, com a respetiva proposta de correção***

Nome: _____ N.º _____ Turma _____

Classificação _____ % Professora: Marta Ribeiro

Ficha de trabalho

1. As perspetivas estáticas, frequentes durante os séculos XVI e XVII, negam a existência de mudanças relevantes na superfície terrestre, considerando o dilúvio como o único agente geodinâmico relevante. No entanto, no século XV, Leonardo da Vinci apresentou cinco argumentos poderosos contra a teoria do Dilúvio Bíblico. Leia com atenção os seguintes textos que fazem referência ao Dilúvio Bíblico (texto A) e ao defendido por Leonardo da Vinci (texto B).

Texto A – Texto Bíblico

“Depois disse o Senhor a Noé: Entra tu e toda a tua casa na arca, porque tenho visto que és justo diante de mim nesta geração. De todos os animais limpos tomarás para ti sete e sete, o macho e sua fêmea; mas dos animais que não são limpos, dois, o macho e a sua fêmea. Também das aves dos céus sete e sete, macho e fêmea, para conservar em vida sua espécie sobre a face de toda a terra. Porque, passados ainda sete dias, farei chover sobre a terra quarenta dias e quarenta noites; e desfarei de sobre a face da terra toda a substância que fiz.” (Génese, 7:1-4) “E durou o dilúvio quarenta dias sobre a terra, e cresceram as águas e levantaram a arca, e ela se elevou sobre a terra.” (Génese, 7:17) “E expirou toda a carne que se movia sobre a terra, tanto de ave como de gado e de feras, e de todo o réptil que se arrastava sobre a terra, e todo o homem.” (Génese, 7:21)

Texto B – Texto científico

“No Código Leicester, Leonardo da Vinci (1452-1519) apresenta cinco poderosos argumentos contra a teoria do Dilúvio para explicar a existência de conchas marinhas nas montanhas de Parma e Piacenza. Assim, ele: 1) observa conchas que aparecem em várias camadas de rochas sedimentares que foram depositadas em diferentes tempos sequenciais, o que é inconsistente com a história bíblica. Se não, teriam de ter existido vários Dilúvios que produzissem essas camadas com as conchas; 2) afirma que segundo a Bíblia o Dilúvio cobriu as montanhas e como tal, as conchas deveriam de ser encontradas no topo das montanhas e não perto das bases, como se verificava; 3) refere que se as conchas tivessem sido depositadas pelo Dilúvio não haveriam marcas ou rastros de animais marinhos, como ele observou, devido à agitação das águas. Estas evidências eram importantes para a reputação de que as criaturas marinhas estavam vivas no ambiente em que a sua fossilização ocorreu, ao invés de terem sido transportados como animais mortos pelo Dilúvio; 4) refere que se as conchas tivessem sido transportadas pelo Dilúvio cerca de 1000 km também teria de ir misturado outras espécies, porém, realça que observam-se ostras numa determinada zona e noutra outro tipo de conchas e 5) refere que em determinadas zonas é possível observar o par da concha, o que seria impensável se o ser não estivesse vivo onde foi encontrado. Com estes argumentos, Leonardo da Vinci refuta a ideia de que os fósseis marinhos encontrados nas montanhas foram transportados como animais mortos pelo Dilúvio (Capra, 2013)



Fig. 1. Himalaias (Cadeia montanhosa) que se formou ao longo da margem sul do continente Euroasiático (adaptado de Stanley, 1998, p. 250).

1.1 Explique, com base no texto A, o aparecimento de fósseis marinhos em montanhas, como por exemplo, nos Himalaias.

O aparecimento de fósseis marinhos nos Himalaias, segundo o texto, é devido ao Dilúvio Bíblico. Choveu tanto que as montanhas ficaram cobertas de água e todos os animais que não entraram na Arca de Noé morreram submersos, tendo alguns deles fossilizado no cimo das montanhas formando os atuais vestígios fósseis.

1.2 Explique, com base no texto B, o aparecimento de fósseis marinhos em montanhas, como por exemplo, nos Himalaias.

Provavelmente, quando os seres marinhos fossilizaram as montanhas ainda não se tinham formado.

1.3 Refira qual dos textos está mais de acordo com a sua opinião. Justifique.

O segundo é suportado em evidências de observação e capacidade de argumentação

2. Segundo o geólogo alemão Alfred Wegener, o continente africano já tinha estado unido à América do Sul. Num dos argumentos por ele defendidos, os argumentos morfológicos, mencionou que os dois continentes encaixavam como duas peças de um puzzle, como evidencia a Fig. 2. Outro argumento apresentado foi baseado na correspondência de rochas antigas

2.1 Explique, apoiando-se na Fig. 2, como é que atualmente estes continentes estão separados.

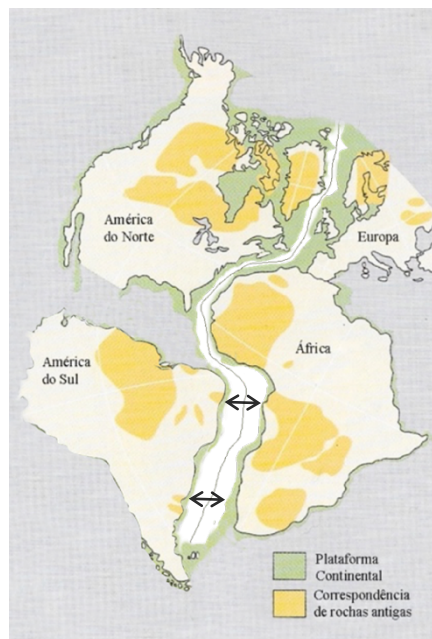


Fig. 2. Argumentos morfológicos e litológicos defendidos por Wegener (adaptado de Siever & Press, 1999, p. 506).

Atualmente, os continentes referidos encontram-se separados devido à abertura de um oceano entre eles, formação de um rifte, provocado por forças distensivas. Esse alastramento ao longo do rifte (originado entre outras coisas pela saída de lava) gerou nova crosta oceânica.

3. As grandes cadeias montanhosas continentais estão localizadas maioritariamente ao longo dos bordos continentais ou de antigos bordos continentais já colididos no passado. Como explica este facto.

Devido à convergência com colisão ou choque entre placas tectónicas.

4. Elabore uma explicação para a formação de cadeias montanhosas, tipo a dos Andes e a dos Himalaias.

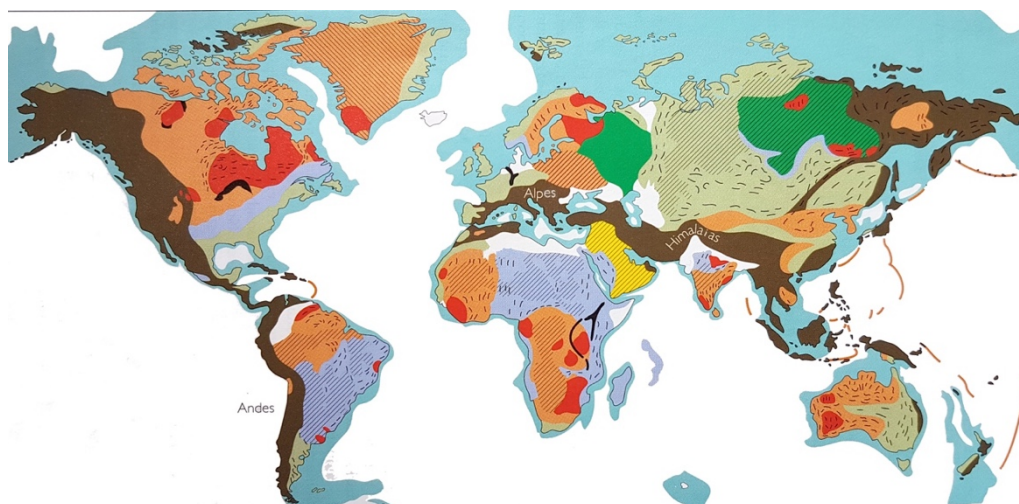
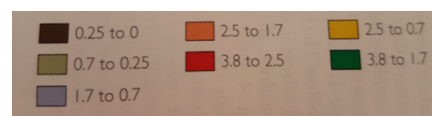


Fig. 3. Localização geográfica das cadeias montanhosas Andes e Himalaias (adaptado de Siever & Press, 1999, p. 540).

Milhões de anos



Quando há colisão entre uma placa tectónica de crosta oceânica com uma de crosta continental, a crosta oceânica que se encontra mais afastada do rifte por ser mais antiga, mais fria (do que a que se encontra mais próxima do rifte), mais fina e mais densa vai mergulhar por baixo da crosta continental que é menos densa e mais espessa, é subductada. Como resultado, do choque entre essas placas, que ao mergulhar aumentam a temperatura e fundem, desencadeiam-se fenómenos de vulcanismo, que espessam a crosta continental, sendo responsável pela formação de grandes cadeias montanhosas, como por exemplo os Andes.

Quando há colisão entre duas placas tectónicas de crosta continental, como a densidade é menor do que a crosta superior e o manto e ambas têm sensivelmente a mesma densidade, nenhuma tende a ser subductada. Assim, há o dobramento e a deformação por vários processos de espessamento incluindo geração de falhas de longa extensão e baixo ângulo, isto é, pouco inclinadas (carreamento) das rochas gerando cadeias montanhosas, como por exemplo os Himalaias.

5. Observe com atenção as seguintes imagens, que pretendem representar o movimento da formação dos Himalaias, através de um modelo. O movimento das placas efetua-se para Norte, em coordenadas atuais.



Figura 4. Foto, vista de topo, do modelo no final da atividade.

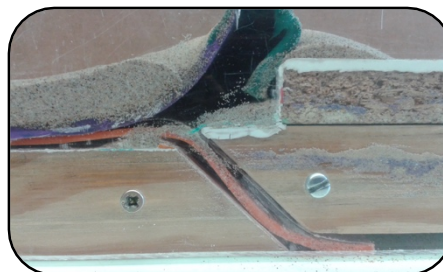


Figura 5. Foto lateral do modelo no final da atividade.



Figura 6. Foto, vista lateral, do modelo no final da atividade.

5.1 De acordo com as figuras, faça a correspondência entre os termos da Coluna I, materiais do modelo, com os termos da Coluna II, que exibe o que pretende representar.

Coluna I	Coluna II
1. Placa A	a. Placa Indiana
2. Placa B	b. Fundo do oceano (crusta oceânica)
3. Plasticina lilás	c. Placa Euroasiática
4. Plasticina vermelha	d. Crusta de transição
5. Plasticina verde	e. Sedimentos marinhos
6. Areias	f. Crusta oceânica mais profunda

1. c; 2. a; 3. b; 4. f; 5. d; 6. e

5.2 O movimento representado pelo modelo é entre que placas?

☒ crusta continental vs crusta continental

☐ crusta oceânica vs crusta oceânica

☐ crusta continental vs crusta oceânica

(Assinale com um X a resposta correta)

5.3 Refira que tipo de movimento levou à formação dos Himalaias.

☐ movimento divergente

☒ movimento convergente

☐ movimento transformante

(Assinale com um X a resposta correta)

5.4 Indique o que pensa ter acontecido à zona representada pela plasticina vermelha durante a formação dos Himalaias.

☒ foi subductada

☐ foi enrugada

☐ foi subductada e enrugada

(Assinale com um X a resposta correta)

5.5 Considera que o modelo apresentado pretende estabelecer uma analogia com:

☐ formação de Riftes, em particular a zona da crista média oceânica atlântica.

☒ formação de cadeias montanhosas, em particular os Himalaias.

☐ formação de falhas de desligamento, em particular a falha de Santo André.

(Assinale com um X a resposta correta)

6. Ordene cronologicamente, de acordo com o modelo apresentado, as afirmações A, B e C, referentes ao aparecimento de fósseis marinhos nos Himalaias.

a) A placa Indiana moveu-se para Norte, em coordenadas atuais, e iniciou o processo de colisão com a placa Euroasiática. Houve subducção de um fragmento de oceano entre a microplaca Indiana e a macroplaca Euroasiática e o respetivo consumo dessa crosta oceânica (destruição da crosta oceânica). A crosta oceânica ao ser subductada origina, por combinação de fenómenos de fusão e vulcanismo, intrusões magmáticas que fazem espessar a crosta da placa Euroasiática.

b) As unidades litológicas onde se encontram alguns fósseis dos seres marinhos sofrem elevação. Devido aos fenómenos de erosão e enrugamento, com subida das unidades litológicas suprajacentes, os fósseis surgem à superfície.

c) A placa Indiana quando colidiu com o bordo Sul, em coordenadas atuais, da placa Euroasiática, como tinha uma densidade semelhante à placa Euroasiática e menor do que a do manto e crosta superior, não mergulhou mas originou um processo de enrugamento. A bacia oceânica que existia entre os dois continentes fechou.

A, C e B

Bibliografia:

- Stanley, S. (1998). *Earth System History*. United States of America: W. H. Freeman and Company.
- Press, F. & Siever, R. (1999). *Understanding Earth*. 2ª edição. United States of America: W. H. Freeman and Company.

Apêndice III – Grelha do tipo de raciocínio que se pretende avaliar com o teste sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Grelha do tipo de raciocínio que se pretende avaliar
Teste a utilizar no PI: Formação de montanhas: o caso dos Himalaias

Questões / imagens	Objetivos										
1.1 Explique, com base no texto A, o aparecimento de fósseis marinhos em montanhas, como por exemplo, nos Himalaias.	Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo.										
1.2 Explique, com base no texto B, o aparecimento de fósseis marinhos em montanhas, como por exemplo, nos Himalaias.	Promover o desenvolvimento de raciocínio de processos científicos como, por exemplo, questionamento e formulação de hipóteses. Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo Promover o desenvolvimento de raciocínio histórico										
1.3 Refira qual dos textos está mais de acordo com a sua opinião. Justifique.	Promover o desenvolvimento de raciocínio de processos científicos como procurar evidências e a capacidade de argumentação										
2.1 Explique, apoiando-se na Fig. 2, como é que atualmente estes continentes estão separados.	Promover o desenvolvimento de raciocínio de processos científicos como, por exemplo, observação, questionamento e formulação de hipóteses										
3. As grandes cadeias montanhosas continentais estão localizadas maioritariamente ao longo dos bordos continentais ou de antigos bordos continentais já colididos no passado. Como explica este facto.	Promover o desenvolvimento de raciocínio de processos científicos como, por exemplo, observação e formulação de hipóteses.										
4. Elabore uma explicação para a formação de cadeias montanhosas, tipo a dos Andes e a dos Himalaias.	Promover o desenvolvimento de raciocínio de processos científicos com, por exemplo, formulação de hipóteses										
5.1 De acordo com as figuras, faça a correspondência entre os termos da Coluna I, materiais do modelo, com os termos da Coluna II, que exhibe o que pretende representar.	Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia										
<table><tr><td>Coluna I</td><td>Coluna II</td></tr><tr><td>7. Placa A</td><td>g. Placa Indiana</td></tr><tr><td>8. Placa B</td><td>h. Fundo do oceano (crusta oceânica)</td></tr><tr><td>9. Plasticina lilás</td><td>i. Placa Euroasiática</td></tr><tr><td>10. Plasticina vermelha</td><td>j. Crusta de transição</td></tr></table>		Coluna I	Coluna II	7. Placa A	g. Placa Indiana	8. Placa B	h. Fundo do oceano (crusta oceânica)	9. Plasticina lilás	i. Placa Euroasiática	10. Plasticina vermelha	j. Crusta de transição
Coluna I		Coluna II									
7. Placa A		g. Placa Indiana									
8. Placa B		h. Fundo do oceano (crusta oceânica)									
9. Plasticina lilás	i. Placa Euroasiática										
10. Plasticina vermelha	j. Crusta de transição										

<table border="1"> <tr> <td>11. Plasticina verde</td><td>k. Sedimentos marinhos</td></tr> <tr> <td>12. Areias</td><td>l. Crusta oceânica mais profunda</td></tr> </table> <p>1. ____; 2. ____; 3. ____; 4 ____; 5. ____; 6 ____</p>	11. Plasticina verde	k. Sedimentos marinhos	12. Areias	l. Crusta oceânica mais profunda	
11. Plasticina verde	k. Sedimentos marinhos				
12. Areias	l. Crusta oceânica mais profunda				
<p>5.2 O movimento representado pelo modelo é entre que placas?</p> <p>_____ crusta continental vs crusta continental</p> <p>_____ crusta oceânica vs crusta oceânica</p> <p>_____ crusta continental vs crusta oceânica</p> <p>(Assinale com um X a resposta correta)</p>	Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo				
<p>5.3 Refira que tipo de movimento levou à formação dos Himalaias.</p> <p>_____ movimento divergente</p> <p>_____ movimento convergente</p> <p>_____ movimento transformante</p> <p>(Assinale com um X a resposta correta)</p>	Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia				
<p>5.4 Indique o que pensa ter acontecido à zona representada pela plasticina vermelha durante a formação dos Himalaias.</p> <p>_____ foi subductada</p> <p>_____ foi enrugada</p> <p>_____ foi subductada e enrugada</p> <p>(Assinale com um X a resposta correta)</p>	<p>Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia</p> <p>Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo</p>				
<p>5.6 Considera que o modelo apresentado pretende estabelecer uma analogia com:</p> <p>_____ formação de Riftes, em particular a zona da crista média oceânica atlântica.</p> <p>_____ formação de cadeias montanhosas, em particular os Himalaias.</p> <p>_____ formação de falhas de desligamento, em particular a falha de Santo André.</p> <p>(Assinale com um X a resposta correta)</p>	<p>Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia</p> <p>Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo</p>				
<p>6. Ordene cronologicamente, de acordo com o modelo apresentado, as afirmações A, B e C, referentes ao aparecimento de fósseis marinhos nos Himalaias.</p> <p>d) A placa Indiana moveu-se para Norte, em coordenadas atuais, e iniciou o processo de colisão</p>	<p>Promover o desenvolvimento de raciocínio de processos científicos como, por exemplo, observação, questionamento e formulação de hipóteses.</p> <p>Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo</p>				

<p>com a placa Euroasiática. Houve subducção de um fragmento de oceano entre a microplaca Indiana e a macroplaca Euroasiática e o respetivo consumo dessa crosta oceânica (destruição da crosta oceânica). A crosta oceânica ao ser subductada origina, por combinação de fenómenos de fusão e vulcanismo, intrusões magmáticas que fazem espessar a crosta da placa Euroasiática.</p> <p>e) As unidades litológicas onde se encontram alguns fósseis dos seres marinhos sofrem elevação. Devido aos fenómenos de erosão e enrugamento, com subida das unidades litológicas suprajacentes, os fósseis surgem à superfície.</p> <p>f) A placa Indiana quando colidiu com o bordo Sul, em coordenadas atuais, da placa Euroasiática, como tinha uma densidade semelhante à placa Euroasiática e menor do que a do manto e crosta superior, não mergulhou mas originou um processo de enrugamento. A bacia oceânica que existia entre os dois continentes fechou.</p>	<p>Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia</p>
--	--

Apêndice IV – Instruções de montagem do modelo físico para o ensino sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias

Instruções de montagem do modelo físico sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Materiais:

- 1 caixa de acrílico com 0,42 m (largura) x 1 m (comprimento) x 0,13 m (altura) em forma de U
- 1 placa de fenólico fixa à caixa de acrílico com 0,40 m (largura) x 1 m (comprimento)
- 1 placa de fenólico fixa com o recorte da Placa Euroasiática com 0,40 m (largura) x 0,46 m (comprimento)
- 1 placa de fenólico móvel com o recorte da Placa Indiana 0,40 m (largura) x 0,54 m (comprimento)

Procedimento de montagem

- fixar a placa de fenólico de 1m x 0,4m à caixa de acrílico
- por cima da placa anterior fixar a placa de fenólico de 0,4m x 0,46m
- do lado oposto colocar a restante placa de fenólico (0,4m x 0,54 m)

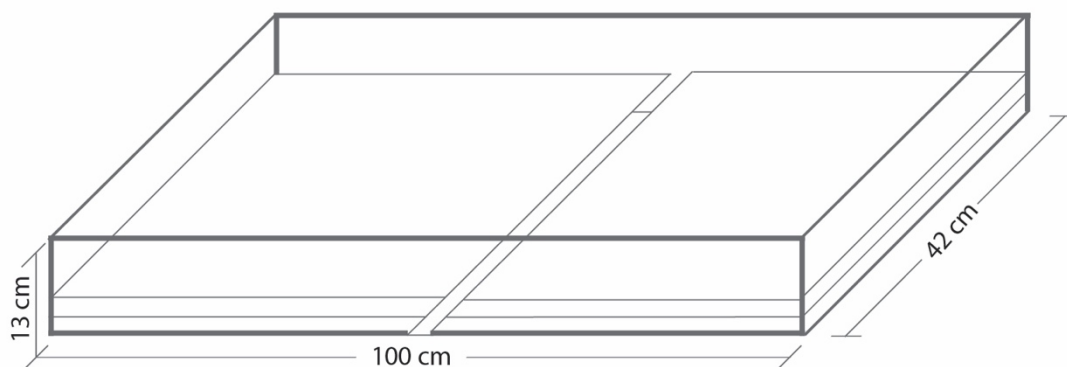
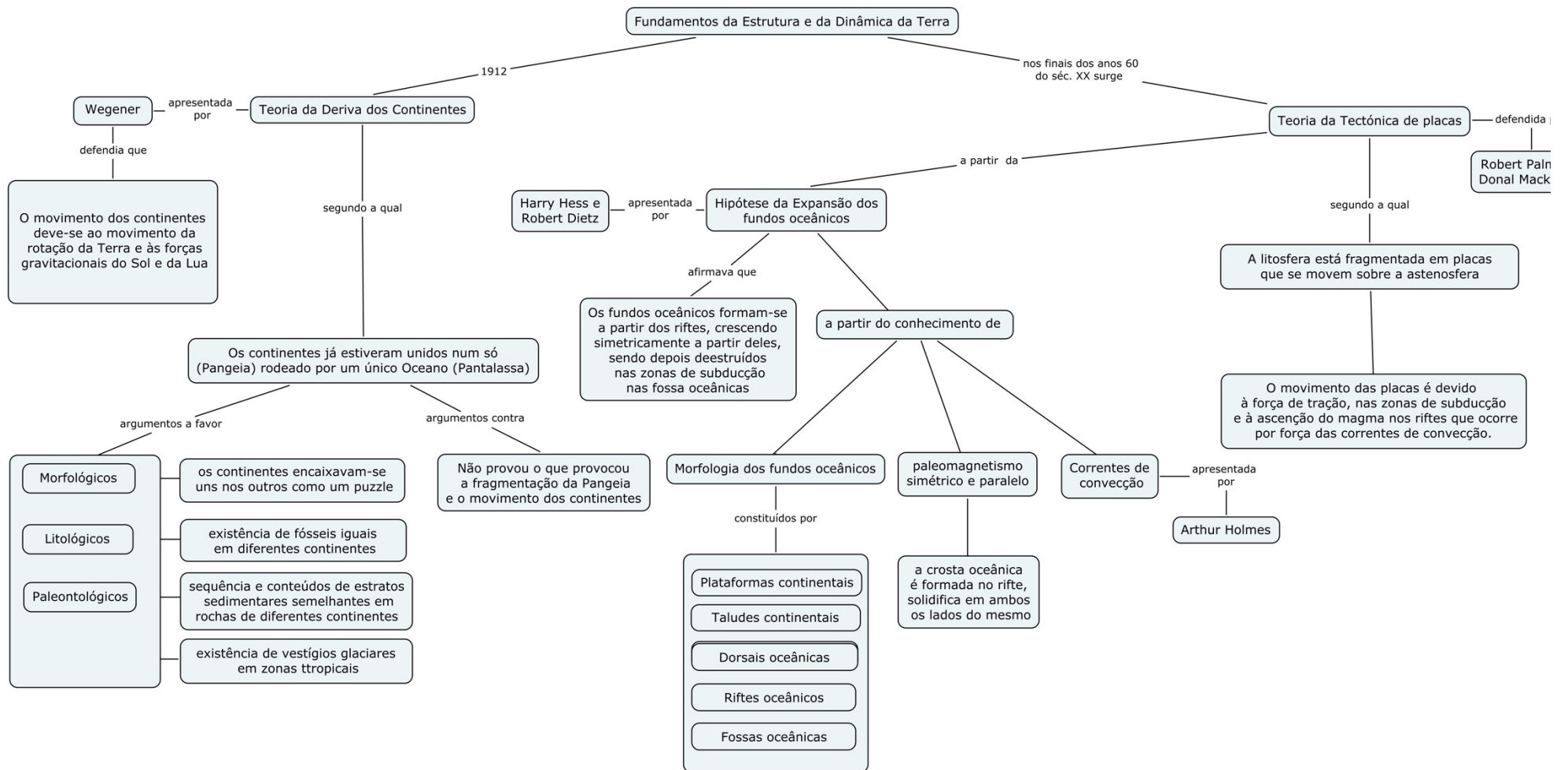


Fig. 1. Esquema representativo do modelo utilizado para a simulação de formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Apêndice V – Mapa de conceitos elaborado pelos alunos de um grupo experimental da amostra da professora-investigadora (n_1)



Apêndice VI – Grelhas de classificação do pré-teste, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Grelha de classificação do pré-teste relativo ao grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora (n_1)

Pré-teste da primeira parte do PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias													
questão	1.1	1.2	1.3	2.1	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6	total
cotação	8	8	8	8	8	8	12	8	8	8	8	8	100
N.º teste													
1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	0	10
2	4	0	4	0	2	0	2	8	8	0	8	0	36
3	6	0	4	0	4	0	12	0	0	8	8	0	42
4	0	0	0	0	0		6	0	0	0	0	0	6
5	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
6	4	0	4	0	0	0	0	8	0	0	0	0	16
7	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	8	0	12
8	4	0	2	0	0	0	6	0	8	0	0	0	20
9	0	0	2	0	0	0	2	8	0	8	8	8	36
10	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	8	0	18
11	0	0	2	0	0	0	6	8	0	0	8	8	32
12	0	0	2	0	0	0	2	8	0	0	8	0	20
13	4	4	4	0	0	0	0	0	0	8	8	8	36
14	4	4	4	0	0	0	2	0	0	0	8	0	22
15	4	0	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	10
16	4	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8	0	20
17	4	0	0	0	0	0	2	8	0	0	0	0	14

Grelha de classificação do pré-teste relativo ao grupo experimental 2 da amostra da professora-investigadora (n_1)

Pré-teste da primeira parte do PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias													
questão	1.1	1.2	1.3	2.1	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6	total
cotação	8	8	8	8	8	8	12	8	8	8	8	8	100
N.º teste													
1	8	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8	8	32
2	8	0	0	0	0	0	6	0	8	8	8	0	38
3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4	0	0	2	0	0	0	4	0	0	0	8	0	14
5	8	0	2	0	0	0	6	8	8	0	8	0	40
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
7	0	0	2	0	0	0	8	0	0	0	8	0	18
8	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	8	0	16
9	4	0	0	0	0	0	12	0	0	0	8	0	24
10	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	0	10
11	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4
12	4	0	2	0	0	0	4	0	8	0	8	0	26
13	0	0	4	4	0	0	0	0	0	8	8	8	32
14	0	0	2		0	0	6	0	0	0	8	0	16
15	0	0	2	0	0	0	4	8	8	8	8	0	38
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	8	0	2	0	0	0	0	0	0	8	0	0	18
18	0	0	0	0	0	0	4	0	8	0	8	8	28
19	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	8	0	12
20	8	0	2	0	0	0	8	0	0	0	8	0	26
21	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	0	10

Grelha de classificação do pré-teste relativo ao grupo de controlo (grupo 3) da amostra da professora-investigadora (n_1)

Pré-teste da primeira parte do PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias													
questão	1.1	1.2	1.3	2.1	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6	total
cotação	8	8	8	8	8	8	12	8	8	8	8	8	100
N.º teste													
1	0	0	2	0	0	0	0	0	8	0	8	0	18
2	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4
3	0	0	2	0	0	0	2	8	0	0	8	0	20
4	8	0	2	0	0	0	6	0	0	0	8	0	24
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
6	8	0	0	0	0	0	4	8	0	0	8	0	28
7	8	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	14
8	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	8	0	16
9	8	0	0	0	0	0	4	0	0	8	0	0	20
10	8	0	0	0	0	0	2	0	0	8	8	0	26
11	0	0	2	0	0	0	4	0	0	8	0	0	14
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	12
14	8	0	2	0	0	0	0	0	0	0	8	0	18
15	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	0	10
16	0	0	2	0	0	0	12	0	0	8	8	0	30
17	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	8	8	18
18	4	0	2	0	0	0	4	0	0	8	8	0	26
19	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	0	24
20	0	0	0	0	0	0	2	0	8	8	8	0	26
21	0	0	0	0	0	0	6	0	8	8	8	8	38

Apêndice VII – Grelhas de classificação do pré-teste, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Grelha de classificação do pré-teste relativo ao grupo de controlo (grupo 1) da amostra do professor-colaborador (n_2)

Pré-teste da primeira parte do PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias													
questão	1.1	1.2	1.3	2.1	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6	total
cotação	8	8	8	8	8	8	12	8	8	8	8	8	100
N.º teste													
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
2	2	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	10
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	8
5	0	0	0	0	0	0	4	0	8	8	8	0	28
6	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8	0	16
7	0	0	2	6	0	0	0	0	0	8	0	0	16
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	4	8	0	0	8	0	20
11	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	0	9
15	0	0	1	4	1	0	2	0	0	0	8	0	16
16	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8	0	0	9
17	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	8
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	8
20	0	0	0	0	0	0	6	0	0	8	8	0	22
21	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	0	10
22	0	0	2	0	0	0	2	8	0	0	8	0	20
23	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	0	24
24	0	0	0	0	0	0	2	8	8	8	0	0	26

Grelha de classificação do pré-teste relativo ao grupo experimental (grupo 2) da amostra do professor-colaborador (n₂)

Pré-teste da primeira parte do PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias													
questão	1.1	1.2	1.3	2.1	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6	total
cotação	8	8	8	8	8	8	12	8	8	8	8	8	100
N.º teste													
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4
3	8	0	4	2	2	0	0	8	8	0	0	8	40
4	8	0	2	2	0	0	0	0	8	0	0	0	20
5	8	0	2	2	0	0	0	0		0	0	0	12
6	0	0	0	2	0	0	0	8	0	8	0	0	18
7	0	0	0	2	0	0	0	0	0	8	0	0	10
8	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
9	0	0	2	2		2	0	8	0	0	0	0	14
10	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	2	0	0	0	4	0	0	0	8	0	14
13	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4
14	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
15	0	0	0	0	0	0	2	0	8	8	8	0	26
16	0	0	2	0	0	0	0	0	8	0	0	0	10
17	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	0	10
18	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
19	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	8	0	10
20	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
21	0	0	2	0	0	0	2	0	0	8	8	0	20

Apêndice VIII – Grelhas de classificação do pós-teste, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Grelha de classificação do pós-teste relativo ao grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora (n_1)

Pós-teste da primeira parte do PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias													
questão	1.1	1.2	1.3	2.1	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6	total
cotação	8	8	8	8	8	8	12	8	8	8	8	8	100
N.º teste													
1	0	0	2	2	0	0	8	8	8	8	0	0	36
2	0	0	0	4	0	0	4	8	8	0	0	0	24
3	8	8	4	6	8	4	6	8	8	8	8	0	76
4	4	0	2	4	4	2	8	8	8	8	8	0	56
5	0	4	2	8	0	1	8	8	8	8	8	0	55
6	8	0	2	3	3		8	8	8	0	0	0	43
7	8	0	2	4	8	4	8	8	8	8	8	0	66
8	6	4	2	8	8	2	4	8	8	8	8	0	66
9	4	0	2	8	8	3	12	8	8	8	8	8	77
10	0	0	2	0	0	0	2	8	8	0	0	0	20
11	0	0	2	3	0	0	6	8	8	8	8	8	51
12	0	0	2	2	0	0	8	8	8	8	8	8	52
13	4	4	8	8	8	2	8	0	8	8	8	8	74
14	4	0	0	4	4	2	8	8	8	8	8	0	54
15		4	0	0	0	0	12	8	8	8	8		48
16	4	0	2	8	4	3	8	8	8	0	8	0	53
17	8	4	2	4	0	0	2	8	8	8	0	0	44

Grelha de classificação do pós-teste relativo ao grupo experimental 2 da amostra da professora-investigadora (n_1)

Pós-teste da primeira parte do PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias													
questão	1.1	1.2	1.3	2.1	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6	total
cotação	8	8	8	8	8	8	12	8	8	8	8	8	100
N.º teste													
1	8	4	4	8	8	2	8	8	8	0	8	0	66
2	0	0	2	4	0	2	12	8	8	0	8	8	52
3	8	3	2	4	4	0	4	0	8	8	8	8	57
4	8	0	0	4	8	2	4	8	8	8	8	8	66
5	8	0	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	68
6	0	0	2	4	8	4	12	8	8	0	8	8	62
7	0	0	3	0	0	0	12	0	8	0	8	0	31
8	0	0	2	8	0	0	0	8	0	0	0	0	18
9	8	2	3	4	0	2	8	8	8	8	8	8	67
10	0	2	2	6	0	2	12	8	8	8	8	0	56
11	0	0	2	8	4	0	4	8	8	8	8	8	58
12	8	0	2	0	0	0	0	0	8	8	8	8	42
13	4	0	3	8	0	2	0	8	8	8	8	8	57
14	0	4	2	0	0	2	6	8	8	8	8	0	46
15	0	0	2	4	0	2	4	8	8	0	8	0	36
16	8	0	3	8	4	0	0	8	8	8	8	0	55
17	8	8	2	8	8	4	12	8	8	0	8	8	82
18	0	8	2	8	0	2	2	8	8	8	8	8	62
19	0	0	0	8	0	0	8	8	0	0	8	8	40
20	8	2	4	8	8	4	12	8	8	8	8	8	86
21	0	0	2	8	0	2	8	8	8	0	8	0	44

Grelha de classificação do pós-teste relativo ao grupo de controlo (grupo 3) da amostra da professora-investigadora (n_1)

Pós-teste da primeira parte do PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias													
questão	1.1	1.2	1.3	2.1	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6	total
cotação	8	8	8	8	8	8	12	8	8	8	8	8	100
N.º teste													
1	0	0	0	0	0	0	4	8	0	0	8	0	20
2	8	0	0	8	8	2	8	8	0	0	8	0	50
3	0	0	0	0	0	0	8	0	0	8	0	0	16
4	8	0	2	8	0	0	6	0	8	0	8	0	40
5	0	0	2	4	0	8	0	0	8	0	8	0	30
6	0	0	0	8	0	0	4	0	0	0	8	0	20
7	8	8	2	8	0	0	8	0	0	0	0	0	34
8	8	2	8	0	0	4	0	0	0	0	0	0	22
9	0	0	0	8	0	0	4	8	0	0	0	0	20
10	8	0	2	6	0	0	4	0	8	8	0	0	36
11	8	8	2	8	0	0	2	0	8	8	8	0	52
12	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	0	10
13	8	0	0	0	0	0	2	0	8	0	8	0	26
14	8	8	2	8	0	0	2	8	0	8	0	0	44
15	0	0	2	8	0	0	4	8	0	8	0	0	30
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	8	0	0	0	0	8	0	0	0	16
18	8	0	0	8	8	2	2	8	8	0	8	8	60
19	0	0	2	8	0	0	8	8	8	0	8	0	42
20	0	0	0	0	0	0	2	0	8	8	0	0	18
21	0	0	0	4	0	0	8	0	0	8	8	0	28

Apêndice IX – Grelhas de classificação do pós-teste, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias,

Grelha de classificação do pós-teste relativo ao grupo de controlo (grupo 2) da amostra do professor-colaborador (n_2)

Pós-teste da primeira parte do PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias

[illegible]

Grelha de classificação do pós-teste relativo ao grupo experimental (grupo 1) da amostra do professor-colaborador (n_2)

Pós-teste da primeira parte do PI – Formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias													
questão	1.1	1.2	1.3	2.1	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6	total
cotação	8	8	8	8	8	8	12	8	8	8	8	8	100
N.º													
1	0	0	2	2	0	4	4	8	0	0	8	0	28
2	0	0	0	0	0	0	4	0	8	0	8	8	28
3	4	8	2	4	0	2	4	8	8	8	8	0	56
4	0	0	2	3	0	0	4	0	8	8	8	0	33
5	0	0	0	0	0	0	6	8	8	8	8	8	46
6	8	0	2	3	0	3	4	0	8	8	8	8	52
7	0	0	0	3	0	2	8	0	0	8	0	0	21
8	0	0	0	0	0	0	6	0	8	0	0	0	14
9	4	4	0	4	3	2	8	8	8	0	8	8	57
10	0	0	2	4	0	0	4	0	8	0	0	0	18
11	0	0	0	0	2	0	8	0	8	0	8	0	26
12	0	0	3	0	0	0	2	0	8	8	8	0	29
13	0	0	2	4	0	0	6	8	8	8	8	8	52
14	0	0	0	0	2	0	6	0	8	8	8	0	32
15	0	0	2	3	0	0	6	0	8	8	8	0	35
16	6	0	2	0	0	0	4	0	0	0	8	8	28
17	0	0	0	0	0	0	8	0	8	8	8	8	40
18	8	0	0	4	0	0	8	8	0	0	0	0	28
19	0	0	0	0	2	0	8	8	0	8	8	8	42
20	4	0	2	3	0	2	6	0	8	0	8	0	33
21	0	0	2	3	0	0	4	0	8	8	8	8	41

Apêndice X – Grelhas de classificação dos Vês de Gowin, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Grelha de classificação do V de Gowin relativo ao grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora (n_1)

n.º	capa					Questão central	Introdução teórica	Conceitos	Procedimentos	Registos	Conclusões	Registos de valor	Bibliografia	Apresentação	Redação	total
	Escola	Disciplina	Título	Autor	Data											
	1	1	2	1	1	10	15	11	10	15	20	10	1	1	1	100
1	1	1	2	1	1	10	8	0	10	6	6	5	1	1	1	54
2	1	1	2	1	1	10	7	4	10	10	5	5	1	1	1	60
3	1	1	2	1	1	10	13	3	10	15	10	9	1	1	1	79
4	1	1	2	1	1	10	4	0	10	10	8	4	1	1	1	55
5	1	1	2	1	1	10	8	8	10	12	12	4	1	1	1	73
6	1	1	2	1	1	10	5	4	10	12	4	4	1	1	1	58
7	1	1	2	1	1	10	9	3	10	14	8	6	1	1	1	69
8	1	1	2	1	1	10	5	2	10	12	8	7	1	1	1	63
9	1	1	2	1	1	10	8	5	10	15	12	4	1	1	1	73
10	1	1	2	1	1	10	5	2	10	12	12	2	1	1	1	62
11	1	1	2	1	1	10	7	0	10	11	4	8	1	1	1	59
12	1	1	2	1	1	10	4	2	10	11	4	4,5	1	1	1	54,5
13	1	1	2	1	1	10	9	4	10	12	10	8	1	1	1	72
14	1	1	2	1	1	10	7	1	10	8	8	7	1	1	1	60
15	1	1	2	1	1	10	3	0	10	11	12	7,5	1	1	1	62,5
16	1	1	2	1	1	10	7	0	10	0	0	4	1	1	1	40
17	1	1	2	1	1	10	6	2	10	11	8	4,5	1	1	1	60,5

Grelha de classificação do V de Gowin relativo ao grupo experimental 2 da amostra da professora-investigadora (n_1)

	capa															
	Escola	Disciplina	Título	Autor	Data	Questão central	Introdução teórica	Conceitos	Procedimentos	Registos	Conclusões	Registos de valor	Bibliografia	Apresentação	Redação	total
n.º	1	1	2	1	1	10	15	11	10	15	20	10	1	1	1	100
1	1	1	2	1	1	10	10	2	10	15	19	10	1	1	1	85
2	1	1	2	1	1	10	14	4	10	9	20	7,5	1	1	1	83,5
3	1	1	2	1	1	10	11	2	10	15	18	5	1	1	1	80
4	1	1	2	1	1	10	15	7	10	15	11	9	1	1	1	86
5	1	1	2	1	1	10	15	7	10	15	11	8	1	1	1	85
6	1	1	2	1	1	10	4	2	10	7	11	6	1	1	1	59
7	1	1	2	1	1	10	12	4	10	11	20	8	1	1	1	84
8	1	1	2	1	1	10	0	0	10	1	0	0	1	1	1	30
9	1	1	2	1	1	10	9	2	10	15	20	8	1	1	1	83
10	1	1	2	1	1	10	6	2	10	8	8	7	1	1	1	60
11	1	1	2	1	1	10	11	4	10	8	8	7,5	1	1	1	67,5
12	1	1	2	1	1	10	0	0	10	1	4	2	1	1	1	36
13	1	1	2	1	1	10	11	3	10	8	20	5	1	1	1	76
14	1	1	2	1	1	10	5	3	10	4	8	6	1	1	1	55
15	1	1	2	1	1	10	8	3	10	4	8	8	1	1	1	60
16	1	1	2	1	1	10	5	2	10	3	14	8	1	1	1	61
17	1	1	2	1	1	10	8	3	10	10	10	1	1	1	1	61
18	1	1	2	1	1	10	11	2	10	11	20	10	1	1	1	83
19	1	1	2	1	1	10	5	3	10	4	8	6	1	1	1	55
20	1	1	2	1	1	10	10	3	10	8	13	10	1	1	1	73
21	1	1	2	1	1	10	11	3	10	4	8	8	1	1	1	63

Apêndice XI –Grelha de classificação dos Vês de Gowin, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias.

Grelha de classificação do V de Gowin relativo ao grupo experimental (grupo 2) da amostra do professor-colaborador (n₂)

	capa															
	Escola	Disciplina	Título	Autor	Data	Questão central	Introdução teórica	Conceitos	Procedimentos	Registos	Conclusões	Registos de valor	Bibliografia	Apresentação	Redação	total
n.º	1	1	2	1	1	10	15	11	10	15	20	10	1	1	1	100
1	1	1	2	1	1	10	8,5	1	10	14	10	6	1	1	1	68,5
2	1	1	2	1	1	10	9	6	10	15	8	6	1	1	1	73
3	1	1	2	1	1	10	9	5	10	15	12	4	1	1	1	74
4	1	1	2	1	1	10	9	6	10	7	12	9	1	1	1	72
5	1	1	2	1	1	10	8,5	7	10	10	8	6	1	1	1	68,5
6	1	1	2	1	1	10	0	6	10	8	4	0	1	1	1	47
7	1	1	2	1	1	10	8,5	8	10	4	10	5	1	1	1	64,5
8	1	1	2	1	1	10	6,5	0	10	4	8	2	1	1	1	49,5
9	1	1	2	1	1	10	9	7	10	11	8	7	1	1	1	71
10	1	1	2	1	1	10	8,5	1	10	10	8	9	1	1	1	65,5
11	1	1	2	1	1	10	9	6	10	4	4	7	1	1	1	59
12	1	1	2	1	1	10	8,5	6	10	4	0	1	1	1	1	48,5
13	1	1	2	1	1	10	6,5	5	10	4	4	4	1	1	1	52,5
14	1	1	2	1	1	10	8	6	10	7	12	9	1	1	1	71
15	1	1	2	1	1	10	9	8	10	7	16	8	1	1	1	77
16	1	1	2	1	1	10	9,5	7	10	4	12	7	1	1	1	68,5
17	1	1	2	1	1	10	8,5	7	10	4	16	7	1	1	1	71,5
18	1	1	2	1	1	10	8,5	6	10	7	16	10	1	1	1	76,5
19	1	1	2	1	1	10	8,5	6	10	7	16	7	1	1	1	73,5
20	1	1	2	1	1	10	9	6	10	7	16	6	1	1	1	73
21	1	1	2	1	1	10	9,5	6	10	0	0	7	1	1	1	51,5

***Apêndice XII – Teste sobre a formação de falhas e dobras, com
a respetiva proposta de correção***

Nome: _____ N.º _____ Turma _____

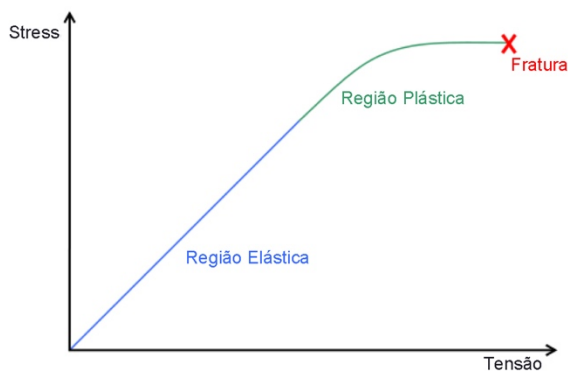
Classificação _____ % Professora: Marta Ribeiro

Ficha de trabalho

1. Esquematize e legende uma dobra.

2. Esquematize e legende uma falha.

3. Interpreta o gráfico seguinte e responde.



3.1 Refira que comportamentos têm os materiais quando:

- 3.1.1 dobram e voltam à posição inicial **elástico**
- 3.1.2 fraturam **frágil**
- 3.1.3 dobram e não voltam à posição inicial **plástico**

Com base nos materiais que possui na sua bancada e no gráfico anterior refira que comportamento apresenta:

- 3.2 a plasticina quando dobra. ____ **dúctil** ____
- 3.3 a plasticina quando fratura. ____ **frágil** ____
- 3.4 o pau de giz quando fratura. ____ **frágil** ____
- 3.5 a bola saltitona. ____ **elástico** ____

4. Observe com atenção as seguintes figuras que pretendem representar a formação de dobras e falhas.



Figura 1. Foto do modelo no início da atividade.

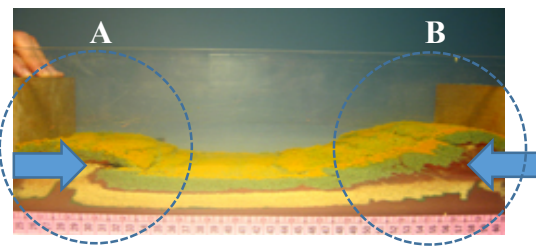


Figura 2. Foto do modelo durante a atividade.

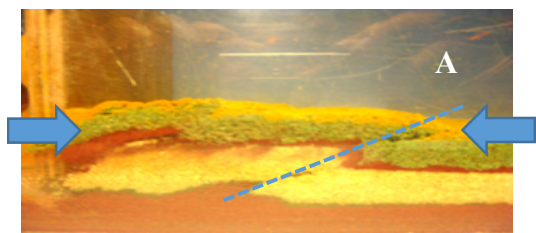


Figura 3. Foto do modelo durante a atividade.

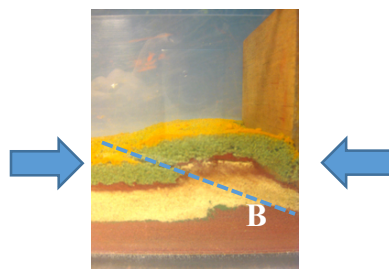


Figura 4. Foto do modelo durante a atividade.

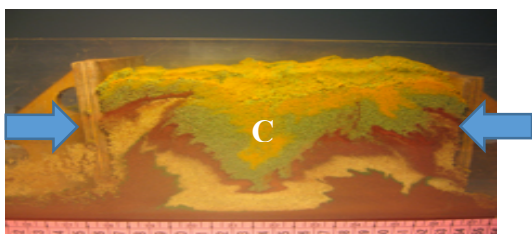


Figura 5. Foto do modelo no final da atividade.

4.1 Indique o que representam as camadas de areia de cor diferente.

Unidades Litológicas.

4.2 Refira qual o significado das setas.

Movimento de compressão e aproximação entre os limites do aparato.

4.3 Faça a correspondência entre as letras da Coluna I (representadas nas figuras anteriores) com os termos da Coluna II

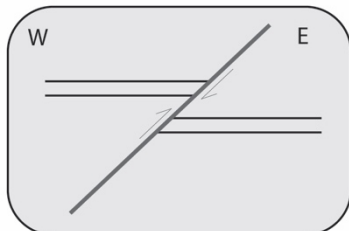
Coluna I	Coluna II
A	1. Dobra
B	2. Falha normal
C	3. Falha inversa

A 2; B 3; C 1

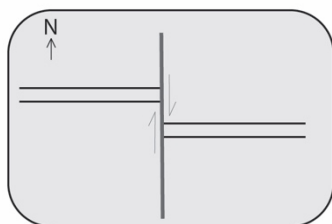
5. Identifique os fenómenos representados pelas letras A, B e C da coluna I com os termos da coluna II.

Coluna I

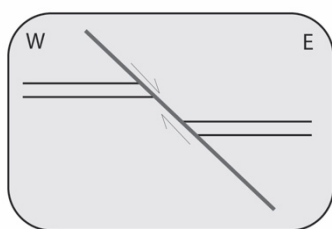
A



B



C



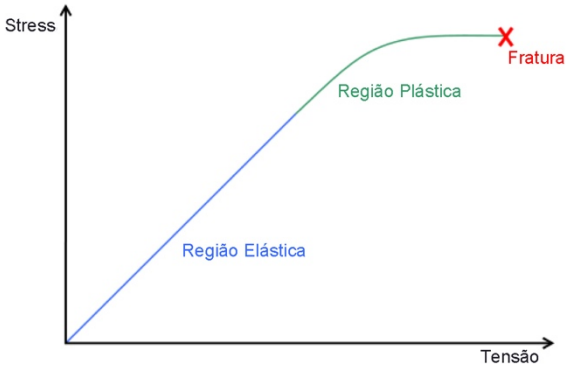
Coluna II

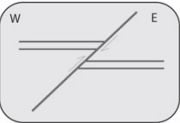
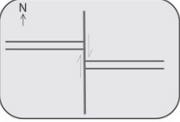
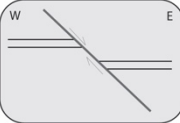
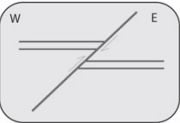
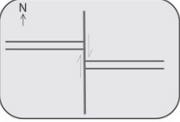
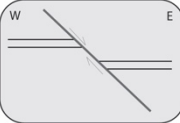
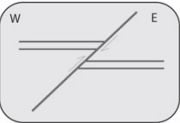
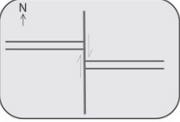
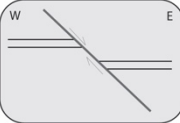
1. Falha de Desligamento direito
2. Falha Inversa ou de cavalgamento
3. Falha Normal

A 2 B 1 C 3

Apêndice XIII – Grelha do tipo de raciocínio que se pretende avaliar com o teste sobre a formação de falhas e dobras

Grelha do tipo de raciocínio que se pretende avaliar
Teste a utilizar no PI: Formação de falhas e dobras

Questões / imagens	Objetivos
6. Esquematize e legende uma dobra.	Promover o desenvolvimento de processos científicos como esquematizar e legendar Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia
7. Esquematize e legende uma falha.	Promover o desenvolvimento de processos científicos como esquematizar e legendar Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia
<p>8. Com base nos materiais que possui na tua bancada e no gráfico seguinte refira que comportamento apresenta:</p>  <p>os materiais</p> <p>quando:</p> <p>8.1.1 dobram e voltam à posição inicial</p> <p>8.1.2 fraturam</p> <p>8.1.3 dobram e não voltam à posição inicial</p>	Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia
<p>Com base nos materiais que possui na sua bancada e no gráfico anterior refira que comportamento apresenta:</p> <p>8.2 a plasticina quando dobra.</p> <p>8.3 a plasticina quando fratura.</p> <p>8.4 o pau de giz quando fratura.</p> <p>3.5 a bola saltitona</p>	Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo Promover o desenvolvimento de raciocínio de processos científicos como, por exemplo, a previsão
4.1 Indique o que representam as camadas de areia de cor diferente	Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia

<p>4.2 Refira qual o significado das setas.</p>	<p>Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia</p> <p>Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo</p>								
<p>4.3 Uma os termos da Coluna I com os da Coluna II, na qual se encontra a estrutura geológica representada pelas letras.</p> <table border="0"> <tr> <td>Coluna I</td><td>Coluna II</td></tr> <tr> <td>A</td><td>1. Dobra</td></tr> <tr> <td>B</td><td>2. Falha normal</td></tr> <tr> <td>C</td><td>3. Falha inversa</td></tr> </table>	Coluna I	Coluna II	A	1. Dobra	B	2. Falha normal	C	3. Falha inversa	<p>Promover o desenvolvimento de raciocínio por analogia</p> <p>Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo</p>
Coluna I	Coluna II								
A	1. Dobra								
B	2. Falha normal								
C	3. Falha inversa								
<p>5. <u>Una</u> os termos da coluna I com as imagens da coluna II.</p> <table border="0"> <tr> <td>Coluna I</td><td>Coluna II</td></tr> <tr> <td> <p>A </p> <p>B </p> <p>C </p> </td><td> <p>1. Falha de desligamento direito</p> <p>2. Falha Inversa</p> <p>3. Falha Normal</p> </td></tr> </table> <p>A _____ B _____ C _____</p>	Coluna I	Coluna II	<p>A </p> <p>B </p> <p>C </p>	<p>1. Falha de desligamento direito</p> <p>2. Falha Inversa</p> <p>3. Falha Normal</p>	<p>Promover o desenvolvimento de raciocínio interpretativo</p>				
Coluna I	Coluna II								
<p>A </p> <p>B </p> <p>C </p>	<p>1. Falha de desligamento direito</p> <p>2. Falha Inversa</p> <p>3. Falha Normal</p>								

***Apêndice XIV – Instruções de montagem do modelo físico para
o ensino sobre a formação de falhas e dobras***

Instruções de montagem do modelo físico para a simulação de formação de falhas e dobras

Materiais:

- 1 caixa de acrílico com 50 cm (largura) X 1 m (comprimento) em forma de U
- 2 placas de madeira (representam as forças compressivas) em forma de L
- 1 elástico unido às duas placas de madeira
- areias coloridas de granulometria inferior a 0,85mm (areia fina segundo a escala granulométrica simplificada de Valden-Wentworth)
- grampos a prender as placas de madeira

Procedimento:

- Colam-se as duas placas de acrílico com 50 cm (largura) à base com 1 m (comprimento) com o objetivo de obter uma caixa em forma de U.
- Prende-se um elástico com agramos de madeira às 2 placas de madeira em forma de L

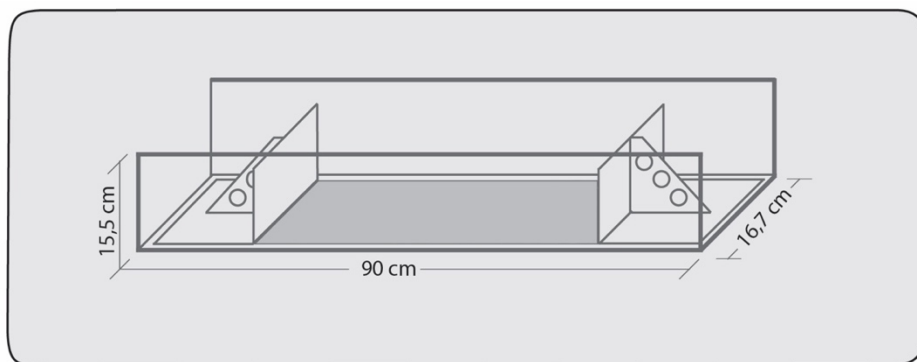


Fig. 1. Esquema representativo do modelo utilizado para a simulação de formação de dobras e falhas.

Apêndice XV – Grelhas de classificação do pré-teste, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de falhas e dobras.

Grelha de classificação do pré-teste relativo ao grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora (n_1)

Pré-teste da segunda parte do PI – Formação de falhas e dobras														
questão	1	2	3.1.1	3.1.2	3.1.3	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	5	total
cotação	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	100
N.º teste														
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
2	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	8	4	0	24
3	0	0	8	8	8	0	8	8	0	4	8	2	2	56
4	4	0	0	0	0	0	4	4	0	0	8	2	2	24
5	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	4	2	18
6	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	14
7	4	0	8	4	8	0	0	0	0	0	8	2	2	36
8	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	4	0	20
9	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
10	4	0	4	0	4	0	0	0	4	0	0	4	2	22
11	4	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	16
12	0	0	8	4	8	0	0	0	0	0	6	0	0	26
13	0	0	4	4	4	0	4	4	0	4	8	4	0	36
14	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	4	2	22
15	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	4	0	2	14
16	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	2	4	22
17	0	0	8	8	0	0	0	0	0	8	8	0	0	32

Grelha de classificação do pré-teste relativo ao grupo experimental 2 da amostra da professora-investigadora (n_1)

[illegible]

Grelha de classificação do pré-teste relativo ao grupo de controlo (grupo 3) da amostra da professora-investigadora (n_1)

Pré-teste da segunda parte do PI – Formação de falhas e dobras														
questão	1	2	3.1.1	3.1.2	3.1.3	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	5	total
cotação	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	100
N.º teste														
1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	6	4
3	0	4	8	0	0	0	0	0	8	0	0	0	2	0
4	0	4	8	0	8	0	0	0	8	0	0	6	2	0
5	0	0	8	0	8	0	0	0	8	4	0	0	2	0
6	0	0	8	0	8	0	0	0	8	4	0	6	2	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	4	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4
10	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
11	4	4	8	0	8	0	0	0	0	0	0	2	0	4
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	2	0
14	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
15	4	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	2	4
16	4	0	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	2	4
17	0	4	8	0	8	0	0	0	0	0	8	0	0	0
18	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
21	0	0	8	0	8	0	0	0	0	4	0	2	2	24

Apêndice XVI – Grelhas de classificação do pré-teste, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de falhas e dobras.

Grelha de classificação do pré-teste relativo ao grupo de controlo (grupo 1) da amostra do professor-colaborador (n_2)

[illegible]

Pré-teste da segunda parte do PI – Formação de falhas e dobras

[illegible]

Apêndice XVII – Grelhas de classificação do pós-teste, da amostra da professora- investigadora (n_1), sobre a formação de falhas e dobras.

Grelha de classificação do pós-teste relativo ao grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora (n_1)

Pós-teste da segunda parte do PI – Formação de falhas e dobras														
questão	1	2	3.1.1	3.1.2	3.1.3	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	5	total
cotação	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	100
N.º teste														
1	6	6	8	0	0	8	8	0	8	0	0	4	2	50
2	0	0	0	8	8	8	8	8	0	6	0	4	2	52
3	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	4	4	96
4	0	4	8	8	8	0	8	8	0	8	6	4	2	64
5	6	6	0	8	8	8	8	8	8	8	8	4	2	82
6	0	4	8	0	8	8	0	0	8	0	0	4	4	44
7	0	0	8	0	8	8	0	0	8	8	0	4	2	46
8	6	4	8	0		8	0	0	8	0	8	4	2	48
9	0	0	8	0		8	0	0	8	8	8	4	2	46
10	0	0	8	0	8	8	0	0	8	0	0	2	6	40
11	4	4	8	8	0	8	8	8	8	4	4	4	2	62
12	4	4	8	8	8	0	8	0	8	0	8	2	2	60
13	8	8	8	0	8	8	0	0	8	8	8	4	4	72
14	4	0	8	0	8	8	0	0	8	0	0	0	2	38
15	4	4	8	8	8	0	8	8	0	0	0	2	2	52
16	8	8	0	0	0	8	0	0	0	8	8	4	0	44
17	4	4	8	0	8	0	0	0	8	4	4	4	2	46

Grelha de classificação do pós-teste relativo ao grupo de controlo (grupo 3) da amostra da professora-investigadora (n_1)

Pós-teste da segunda parte do PI – Formação de falhas e dobras														
questão	1	2	3.1.1	3.1.2	3.1.3	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	5	total
cotação	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	100
N.º teste														
1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	10
2	7	4	8	8	0	8	8	8	0	0	8	4	4	67
3	0	4	8	0	8	0	0	0	8	0	0	4	4	36
4	4	4	8	0	8	0	0	0	8	0	0	4	2	38
5	8	8	8	0	8	0	0	0	8	0	4	0	6	50
6	2	2	8	0	8	0	0	0	8	0	0	4	6	38
7	2	2	0	0	0	0	0	0	8	0	0	4	2	18
8	2	2	0	0	8	0	0	0	0	0	0	4	6	22
9	0	2	8	0	8	8	0	0	8	0	0	4	6	44
10	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	13
11	8	8	8	0	8	8	0	0	8	0	0	4	6	58
12	0	0	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	6	30
13	8	8	8	0	0	0	0	0	0	8	0	2	6	40
14	8	4	8	8	0	0	0	0	8	0	8	0	6	50
15	4	4	8	8	0	0	0	0	8	0	0	4	2	38
16	8	4	8	8	0	8	8	8	8	0	0	0	2	62
17														0
18	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	4	30
19	2	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	10
20	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
21	4	4	8	8	8	0	0	8	8	0	0	0	2	50

Apêndice XVIII – Grelhas de classificação do pós-teste, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de falhas e dobras.

Grelha de classificação do pós-teste relativo ao grupo de controlo (grupo 1) da amostra do professor-colaborador (n_2)

[illegible]

Grelha de classificação do pós-teste relativo ao grupo experimental (grupo 2) da amostra do professor-colaborador (n_2)

Pós-teste da segunda parte do PI – Formação de falhas e dobras														
questão	1	2	3.1.1	3.1.2	3.1.3	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	5	total
cotação	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	100
N.º teste														
1	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	6	20
2	4	4	0	0	0	0	0	0	0	8	4	0	0	20
3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	6	20
4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	3	3	4	0	14
5	4	2	4	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	18
6	2	3	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	2	15
7	4	2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	10
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	8
10	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	12
11	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10
12	4	4	0	0	0	0	0	6	0	4	4	2	0	24
13	4	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	2	2	16
14	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	12
15	4	4	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	0	18
16	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	6	20
17	4	4	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	28
18	2	4	6	4	6	4	4	4	4	4	0	4	6	52
19	4	2	0	0	0	0	0	0	8	8	4	4	6	36
20	4	4	0	0	0	0	0	0	8	8	8	4	6	42
21	5	4	8	0	0	0	0	0	0	8	8	6	6	45

Apêndice XIX –Grelhas de classificação dos Vês de Gowin, da amostra da professora-investigadora (n_1), sobre a formação de falhas e dobras.

Grelha de classificação do V de Gowin relativo ao grupo experimental 1 da amostra da professora-investigadora (n_1)

n.º	capa					Questão central	Introdução teórica	Conceitos	Procedimentos	Registos	Conclusões	Registos de valor	Bibliografia	Apresentação	Redação	total
	Escola	Disciplina	Título	Autor	Data											
n.º	1	1	2	1	1	10	15	11	10	15	20	10	1	1	1	100
1	1	1	2	1	1	10	15	11	10	15	20	10	1	1	1	100
2	1	1	2	1	1	10	7	4	10	12	15	10	1	1	1	77
3	1	1	2	1	1	10	9	8	10	12	9	7	1	1	1	74
4	1	1	2	1	1	10	12	8	10	13	12	1	1	1	1	75
5	1	1	2	1	1	10	7	0	10	13	13	7	1	1	1	69
6	1	1	2	1	1	10	9	2	10	12	15	10	1	1	1	77
7	1	1	2	1	1	10	6	4	10	10	15	10	1	1	1	74
8	1	1	2	1	1	10	10	11	10	11	9	7	1	1	1	77
9	1	1	2	1	1	10	7	2	10	12	18	10	1	1	1	78
10	1	1	2	1	1	10	9	9	10	9	9	7	1	1	1	72
11	1	1	2	1	1	10	14	0	10	6	14	7	1	1	1	70
12	1	1	2	1	1	10	14	9	10	9	20	6	1	1	1	87
13	1	1	2	1	1	10	13	0	10	12	20	10	1	1	1	84
14	1	1	2	1	1	10	10	0	10	12	15	10	1	1	1	76
15	1	1	2	1	1	10	13	3	10	10	3	10	1	1	1	68
16	1	1	2	1	1	10	4	5	10	7	11	7	1	1	1	63
17	1	1	2	1	1	10	12	9	10	4	10	9	1	1	1	73

Grelha de classificação do V de Gowin relativo ao grupo experimental 2 da amostra da professora-investigadora (n_1)

n.º	capa					Questão central	Introdução teórica	Conceitos	Procedimentos	Registos	Conclusões	Registos de valor	Bibliografia	Apresentação	Redação	total
	Escola	Disciplina	Título	Autor	Data											
n.º	1	1	2	1	1	10	15	11	10	15	20	10	1	1	1	100
1	1	1	2	1	1	10	11	6	10	8	11	3	1	1	1	68
2	1	1	2	1	1	10	9	4	10	8	15	10	1	1	1	75
3	1	1	2	1	1	10	9	5	10	9	13	10	1	1	1	75
4	1	1	2	1	1	10	15	9	10	8	14	10	1	1	1	85
5	1	1	2	1	1	10	14	9	10	9	13	10	1	1	1	84
6	1	1	2	1	1	10	9	2	10	7	13	7	1	1	1	67
7	1	1	2	1	1	10	12	5	10	8	13	10	1	1	1	77
8	1	1	2	1	1	10			10				1	1	1	29
9	1	1	2	1	1	10	10	5	10	8	13	10	1	1	1	75
10	1	1	2	1	1	10	8	5	10	8	13	10	1	1	1	73
11	1	1	2	1	1	10			10				1	1	1	29
12	1	1	2	1	1	10	10	7	10	7	13	6	1	1	1	72
13	1	1	2	1	1	10	10	8	10	7	13	6	1	1	1	73
14	1	1	2	1	1	10	10	9	10	9	11	3	1	1	1	71
15	1	1	2	1	1	10	10	2	10	9	12	8	1	1	1	70
16	1	1	2	1	1	10	7	2	10	5	11	5	1	1	1	59
17	1	1	2	1	1	10	11	7	10	8	14	10	1	1	1	79
18	1	1	2	1	1	10	10	7	10	9	13	6	1	1	1	74
19	1	1	2	1	1	10	7	2	10	6	12	9	1	1	1	65
20	1	1	2	1	1	10	13	8	10	9	14	10	1	1	1	83
21	1	1	2	1	1	10	5	2	10	9	13	5	1	1	1	63

Apêndice XX –Grelha de classificação dos Vês de Gowin, da amostra do professor-colaborador (n_2), sobre a formação de falhas e dobras.

Grelha de classificação do V de Gowin relativo ao grupo experimental (grupo 2) da

n.º	capa					Questão central	Introdução teórica	Conceitos	Procedimentos	Registos	Conclusões	Registos de valor	Bibliografia	Apresentação	Redação	total
	Escola	Disciplina	Título	Autor	Data											
n.º	1	1	2	1	1	10	15	11	10	15	20	10	1	1	1	100
1	1	1	2	1	1	10	11	9	10	14	18	8	1	1	1	89
2	1	1	2	1	1	10	13	5	10	12	19	8	1	1	1	86
3	1	1	2	1	1	10	13	8	10	11	19	8	1	1	1	88
4	1	1	2	1	1	10	13	10	10	11	19	7	1	1	1	89
5	1	1	2	1	1	10	12	10	10	11	18	8	1	1	1	88
6	1	1	2	1	1	10	5	6	10	11	6	2	1	1	1	59
7	1	1	2	1	1	10	11	11	10	10	15	8	1	1	1	84
8	1	1	2	1	1	10	13	9	10	9	18	8	1	1	1	86
9	1	1	2	1	1	10	10	7	10	9	18	8	1	1	1	81
10	1	1	2	1	1	10	10	10	10	8	15	8	1	1	1	80
11	1	1	2	1	1	10	9	4	10	8	10	6	1	1	1	66
12	1	1	2	1	1	10	10	5	10	8	10	8	1	1	1	70
13	1	1	2	1	1	10	8	5	10	5	10	6	1	1	1	63
14	1	1	2	1	1	10	10	5	10	5	10	10	1	1	1	69
15	1	1	2	1	1	10	11	3	10	10	15	8	1	1	1	76
16	1	1	2	1	1	10	11	8	10	10	15	8	1	1	1	81
17	1	1	2	1	1	10	11	8	10	12	15	8	1	1	1	83
18	1	1	2	1	1	10	12	9	10	13	16	8	1	1	1	87
19	1	1	2	1	1	10	11	8	10	13	15	8	1	1	1	84
20	1	1	2	1	1	10	11	7	10	10	15	8	1	1	1	80
21	1	1	2	1	1	10	10	7	10	12	16	8	1	1	1	82

amostra do professor-colaborador (n₂)

Apêndice XXI – Questionário.

Questionário

	(S) Sim	(N) Não
Auxiliou o trabalho colaborativo		
Ajudou a compreender a metodologia científica		
Permitiu compreender o raciocínio por analogia que os geólogos utilizam		
Permitiu compreender o raciocínio interpretativo que os geólogos utilizam		
Ajudou a formular explicações para fenómenos geológicos		
Dificultou a aprendizagem		

Apêndice XXII – Questões de orientação para a entrevista focal.

Questões de orientação para a entrevista focal:

- 1 Que tipo de aulas são mais motivadoras para a vossa aprendizagem? Aulas tipo um ensino tradicional, isto é, um ensino expositivo em que o professor transmite conhecimentos e vocês passam para o caderno o que ele debita ou aulas mais dinâmicas, nas quais vocês intervêm e constroem o vosso conhecimento?
- 2 Gostaram das aulas em que se utilizaram os modelos da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias e da formação de falhas e dobras? Porquê?
- 3 Os vossos resultados no final da atividade da formação dos Himalaias foram melhores do que no final da atividade da formação de falhas e dobras. Porquê? A que se deve isso? Até porque vocês já tinham utilizado um modelo...
- 4 Os modelos ajudaram-vos a perceber como os geólogos trabalham?
- 5 Recordam-se quais foram os tipos de raciocínio que foram trabalhos nas atividades práticas?
- 6 Conseguiram perceber a utilidade do V de Gowin? Para que serve?
- 7 A utilização do V de Gowin foi útil para consolidar os conhecimentos?
- 8 Conseguiram perceber como se constrói o conhecimento?
- 9 O V de Gowin ajudou a compreender como se constrói o raciocínio científico?

***Apêndice XXII – Entrevista focal dirigida pela professora-
investigadora ao grupo 2 (experimental), amostra n_1***

Entrevista focal a um grupo de 21 alunos (grupo 2–experimental), amostra n_1

Data: 15 de dezembro de 2017

Duração: 50 min

Observação: os nomes que aqui se encontram são fictícios.

Nome	Afirmação	Categoria (Código)	Subcategoria (Código)
Professora	<i>Que tipo de aulas gostas mais? Aulas tipo um ensino tradicional, isto é, um ensino expositivo em que o professor transmite conhecimentos e vocês passam para o caderno o que ele debita ou aulas mais dinâmicas, nas quais vocês intervêm e constroem o vosso conhecimento?</i>		
Francisca	Óh, professora, claro que são aulas práticas, nas outras eu não consigo aprender nada pois quando estou a escrever estou focada no que estou a fazer e quero é acabar rápido.	A	Mais fácil aprender (A ₃)
Íris	Aulas práticas porque fazem-se mais exercícios e aprendo melhor a matéria.	A	Mais fácil aprender (A ₃)
Beatriz	Eu também gosto mais de aulas práticas desde que não sejam, como as de física e química em que é a professora que faz a experiência e nós só vemos.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁) Mais dinâmica (A ₂)
Carlos	Se fosse eu a mandar as aulas eram quase só práticas. Estamos cansados de tanta teoria.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁)
Ana	Sim, assim não tem piada nenhuma! As aulas fixas são as que nós mexemos nas coisas, como quando foi com a plasticina.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁) Mais dinâmica (A ₂)
Pedro	Pois foi, essa aula foi tótil de fixe. A professora deixou-nos mexer na plasticina e fazer a atividade. As aulas	A	Mais atrativa; interessante (A ₁)

	deviam de ser mais assim.		Mais dinâmica (A ₂)
Miguel	Professora, por exemplo, os modelos que nós utilizamos para explicar a formação dos himalaia e das falhas e dobras ajudaram-nos a compreender melhor a matéria. Por isso é que gostamos mais de aulas práticas. São muito mais interessantes e compreendemos melhor.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁) Compreendem melhor (A ₄)
Carolina	Nós nunca fizemos tantas experiências como este ano a ciências, é mesmo bué fixe. Só não gostei muito foi da experiência da areia.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁)
Professora	Queres dizer da formação de falhas e dobras, certo?		
Carolina	É isso. Aquilo era muito confuso... a professora até explicou bem e eu percebi na altura mas agora, se me perguntar num sei quase nada.		
Professora	Ainda bem que frisas esse ponto. De facto, os vossos resultados no final da atividade da formação dos Himalaias foram melhores do que no final da atividade da formação de falhas e dobras. Porquê? A que se deve isso? Até porque vocês já tinham utilizado um modelo...		
Carlos	É fácil, professora, nós as montanhas vemos e as dobras e falhas não.	B	Não observam no quotidiano (B ₁)
Gonçalo	Pois. Dá muitas vezes na televisão a falar de montanhas e nunca ouvimos a falar de falhas ou dobras.	B	Nunca ouviam falar nas notícias (B ₂)
Bruna	É isso. Ainda na semana passada ouvi nas notícias que caiu neve numa montanha e matou não sei quantas pessoas. Sabe, professora, às vezes eu penso (...muito ruído e gargalhadas) porque é que há montanhas e não é tudo	B	Não observam no quotidiano (B ₁) Nunca ouviam falar nas notícias

	plano? Assim não nos custava tanto caminhar nem gastávamos tanto gasolina. (...muitas gargalhadas) e nunca pensei porque havia falhas ou dobras. Nunca as vi? Como é que ia imaginar que havia falhas e dobras?		(B ₂) Menos curiosidade do que saber como se formaram as montanhas (B ₃)
Mara	Também nunca viste Deus e dizes que vais à catequese (...mais gargalhadas).		
Professora	<i>Mara, esse tipo de comentários sabes que não o permito na minha aula! Não estamos a brincar! Nem pretendo que digas que é uma aula fixe só porque não demos matéria. Este tipo de aulas são muito importantes para, em grupo, refletirmos sobre o que correu bem e o que correu menos bem e porque motivo. Entendido?</i>		
Mara	Desculpe, professora... não volta a acontecer.		
Professora	<i>Assim o espero. Já agora, diz-me porque motivo os teus resultados finais na atividade da formação de falhas e dobras não foram tão significativos como no final da atividade da formação dos Himalaias?</i>		
Mara	Simples, os Himalaias eu já ouvi falar. É lá para a China e então tinha curiosidade em saber como se formaram. As falhas e dobras nunca vi, nunca ouvi falar e sinceramente ao olhar para aquela areia perguntava-me onde é que podia ver aquilo. Foi uma atividade gira mas tinha muitos nomes estranhos. O que é que me interessa se é uma falha normal ou inversa?	B	Nunca ouviram falar nas notícias (B ₂) Menos curiosidade do que saber como se formaram as montanhas (B ₃) Conceitos novos e abstratos (B ₆)

Professora	<i>Mas o modelo não ajudou a compreender a formação de falhas e dobras?</i>		
Rafael	Óh, professora, ajudou mas vou ser sincero além do que os meus colegas disseram sobre as falhas e dobras não nos dizer nada nesse dia se calhar também tinha acontecido umas coisas no intervalo...	B	Nunca ouviram falar nas notícias (B ₂) Conflitos no intervalo antes da aula (B ₄)
Professora	<i>Que coisas, Rafael?</i>		
Rafael	Nada, nada. É só que quando nos chateamos no intervalo depois na aula a seguir ninguém está com atenção.	B	Conflitos no intervalo antes da aula (B ₄)
Mariana	Pois é, professora. Se calhar tínhamos andado à porrada e depois ninguém estava atento e como o interesse era menos...	B	Menos curiosidade do que saber como se formaram as montanhas (B ₃) Conflitos no intervalo antes da aula (B ₄)
Íris	Além disso o grau de dificuldade era muito maior. As montanhas eram mais fáceis, mais giras e nós já conhecíamos.	B	Nunca ouviram falar nas notícias (B ₂) Grau de dificuldade superior (B ₅)
Professora	<i>Disseram que muitas vezes não estão com atenção. Vocês não gostam da escola?</i>		
Grupo	Não!!! (entre ruído)		

generalizado			
Professora	<i>Porquê? Vocês deviam ficar contentes por aprenderem coisas novas todos os dias.</i>		
Afonso	A matéria devia ser sobre o nosso dia-a-dia. A maior parte das coisas que aprendemos não são utilizadas na nossa vida.		
Diogo	Na internet é que se aprende, aqui é só ouvir a voz irritante de alguns professores.		
Professora	<i>Menos! Já disse que não quero esse tipo de comentários!</i>		
Rui	Professora, nós não queremos vir para a escola porque passamos muitas horas aqui dentro, só temos 5 minutos de intervalo que não dá para ir à casa de banho e comer e depois temos um maior de 15 minutos. Devíamos ter mais tempo para falar com os amigos e depois os professores queixam-se que nos portamos mal. Não falamos lá fora, temos de falar aqui. (risos). Além disso, saímos daqui tarde e ainda temos trabalhos de casa para fazer.		
João	Temos outros interesses além da escola.		
Rita	Tu tens de certeza (risos)...só não tens é na escola.		
João	Olha quem fala. (ruído)		
Professora	<i>Esquecem rapidamente as regras! Chega! João, então que interesses é que tens, para além da escola?</i>		
João	Óh, professora, vou ser sincero. A escola não me diz absolutamente nada. Só ando aqui porque sou obrigado.		
Professora	<i>Então o que gostarias de fazer? Se não te obrigassem a andar na escola o que quererias fazer?</i>		

João	Sair com os amigos, estar no facebook, jogar...		
Professora	<i>E achas que isso era vida? Quem trabalhava para te manter? É que tinhas de ter dinheiro para te alimentar, vestir... para as necessidades básicas.</i>		
João	Prontos. Eu até podia vir à escola e se calhar até ia gostar mas tinha de ser diferente. Tinha de ter mais tempo livre, menos carga horária e disciplinas mais práticas mais interessantes... com professoras todas boas e não velhas (risos).		
Professora	<i>Mais uma vez estás a disparatar.</i>		
Sara	Sim, devia ter mais atividades fora da sala de aula, mais visitas de estudo. Agora ninguém faz visitas de estudo e as que fazem temos de pagar e os nossos pais não podem.		
Professora	<i>Já percebi que vocês preferiam ter menos carga horária, mais tempo para vocês, mais atividades práticas, mais conteúdos sobre o vosso quotidiano... mas voltando às atividades que realizamos. Os modelos ajudaram ou não a compreender como os geólogos trabalham?</i>		
Ana	Claro! Eu pelo menos fiquei a saber como é que os geólogos trabalham e porque recorrem a modelos.	A	Compreendem melhor (A ₄)
Diogo	Olha a Ana a dar uma de intelectual... (risos)		
Professora	<i>Diogo, mais uma e saís. Atingiste o limite!</i>		
Bruna	Posso, professora?		
Professora	<i>Sim, Bruna. Diz.</i>		
Bruna	Eu aprendi uma coisa que não sabia e achei muito engraçada. Os geólogos recorrem a modelos e a diferentes tipos de raciocínio para explicarem coisas que	C	Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o

	não conseguem observar porque têm um tamanho muito grande e demorou muitos milhões de anos a formar. Óh, professora, nunca consegui compreender muito bem o que são milhões de anos...as pessoas quando chegam aos 90 anos já são velhinhas...		raciocínio que utilizam (C ₂)
Professora	Muito bem, Bruna! A seguir vemos isso do tempo, ok?		
Andreia	Professora, eu ainda me lembro que nós quando utilizamos um modelo estamos a utilizar o raciocínio por analogia e interpretativo porque estamos a comparar e a interpretar o que fazemos e observamos com o que acontece na natureza.	A C	Compreendem melhor (A ₄) Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂) Ajudou a compreender a utilização dos modelos (C ₃)
Ricardo	Pois, e isso é o que os geólogos fazem.	C	Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂)
Professora	Já aqui foram referidos alguns dos raciocínios que os geólogos utilizam e que nós exploramos na realização das atividades práticas. Alguém se lembra de todos os tipos de raciocínio abordados?		
Mariana	Raciocínio por analogia, esse é fácil...	A	Compreendem melhor

	modelo...analogia...		(A ₄)
Professora	Então, Mariana?		
Mariana	A professora na atividade prática estava sempre a dizer: o que é que a plasticina pretende representar? O que é que representa o papel de acetato?... e então nunca mais me esqueci que os materiais que utilizamos representavam alguma coisa do mundo. Mas as areias foram mais complicadas. Na altura eu percebi mas depois...	A	Compreendem melhor (A ₄)
Carlos	Raciocínio científico, porque os geólogos são cientistas e têm um raciocínio diferente de nós, em que somos burros (risos). Eles observam e perguntam e depois tentam arranjar respostas.	A	Compreendem melhor (A ₄)
Professora	Muito bem, Mariana e Carlos. Mas falta mais...		
Rui	Eu lembro do que é mas não sei o nome. Sei que os geólogos estudam as coisas interpretando o que observam. É isso, raciocínio interpretativo. Dantes pensava-se que tinha sido Deus a colocar as conchas nas montanhas mas agora sabemos que não. As montanhas formaram-se depois dos animaizinhos morrerem.	A	Compreendem melhor (A ₄)
Professora	As vossas atividades práticas não foram só utilizarem modelos, pois não? Também realizaram um V de Gowin.		
Mara	Sim, numa folha grande.		
Professora	Isso, Mara. Numa folha A3. Alguém percebeu a utilidade do V de Gowin? Para que serviu?		
Rafael	Para descrever a atividade prática que fizemos. Tínhamos de associar a teoria ao outro lado, não sei como se chamava.	C	Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento

			(C ₄)
Diogo	Eu não sei nada. Copiei tudo (risos)		
Professora	<i>Isso já todos sabem, pelo que levanta-te e vai para a sala de estudo resolver os exercícios da página 116. Já te tinha avisado. Nas minhas aulas não permito esse tipo de comentários!</i>		
Ana	Professora, eu nunca tinha feito nem sabia o que era um V de Gowin mas gostei muito. Ao início achei confuso, mas depois de a professora voltar a explicar como funcionava e o que tinha de fazer achei muito fixe. Se nós estivermos com atenção as aulas até podem ser fixes. Nós com o V aprendemos a matéria e vemos como fazemos o nosso conhecimento. Também conseguimos compreender melhor os modelos.	C	Ajudou a compreender a utilização dos modelos (C ₃) Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C ₄)
Professora	<i>Então, conseguiram perceber como se constrói o conhecimento?</i>		
Pedro	Sim, mais ou menos. As conclusões da atividade realizada têm em conta a teoria e os conceitos. O V preenche-se da esquerda para a direita. No lado esquerdo temos de pôr a teoria e no direito pomos o que vemos. Foi fixe porque ajudou a vermos como os geólogos trabalham.	C	Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂) Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C ₄)
Ana	Eu aprendi que na ciência o que hoje é verdade amanhã pode não ser.	C	O conhecimento em ciência é dinâmico (C ₁)

Bruna	Eu também gostei muito de fazer essa atividade até porque se nós estivéssemos com atenção na aula do modelo e depois no preenchimento do V conseguíamos saber responder a quase tudo na ficha que fizemos a seguir.	C	O conhecimento em ciência é dinâmico (C ₁) Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂) Ajudou a compreender a utilização dos modelos (C ₃) Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C ₄)
Rafael	Pois foi.	C	O conhecimento em ciência é dinâmico (C ₁) Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂) Ajudou a compreender a utilização

			dos modelos (C ₃) Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C ₄)
Carolina	Os cientistas são mesmo inteligentes. Fazem um V e depois é mais fácil ver a teoria e relacionar com o que veem nas experiências. Quem me dera poder ser cientista...deve ser mesmo fixe. Mas sou burra e não gosto de estudar.	C	O conhecimento em ciência é dinâmico (C ₁) Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂) Ajudou a compreender a utilização dos modelos (C ₃) Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C ₄)
Professora	<i>Carolina, como vês aprender pode ser muito interessante. Por que não mudares de atitude e começares a estudar? Aqui ninguém é burro. É verdade que há pessoas que têm mais capacidades que outras mas isso só significa que quem tem menos tem de trabalhar um pouquinho mais. Quando se quer tudo se consegue com mais ou menos esforço. Por isso, não</i>		

	<i>penses assim e faz um delete a essa postura. Entendido? Bom, voltando ao que estávamos a falar. Assim sendo, podemos dizer que o V de Gowin ajudou a compreender como se constrói o raciocínio científico?</i>		
	Sim!!!!!! (quase em uníssono)		
Ana	Professora, pode continuar a fazer atividades práticas como estas? São tão fixas! Aprendemos tanto... mas de coisas que nós conheçamos. Não como as falhas e dobras. Foi giro mas nós não tínhamos grande interesse naquilo. Era como um burro a olhar para um palácio. Com cada nome mais esquisito...	B	Não observam no quotidiano (B ₁) Menos curiosidade do que saber como se formaram as montanhas (B ₃) Grau de dificuldade superior (B ₅) Conceitos novos e abstratos (B ₆)
Professora	<i>Sim, Ana. Vamos continuar com atividades práticas sobre rochas, vulcões...</i>		
Rafael	Altamente! Adoro vulcões!		
Professora	<i>Até amanhã. Estudem!</i>		

Apêndice XXIII – Entrevista focal dirigida pelo professor-colaborador ao grupo 2 (experimental), amostra n_2

Entrevista focal a um grupo de 21 alunos (grupo 2–experimental), amostra n_2

Data: 16 de dezembro de 2017

Duração: 50 min

Observação: os nomes que aqui se encontram são fictícios.

Nome	Afirmação	Categoria	Secção
Professor-colaborador	<i>Que tipo de aulas gostas mais? Aulas tipo um ensino tradicional, isto é, um ensino expositivo em que o professor transmite conhecimentos e vocês passam para o caderno o que ele debita ou aulas mais dinâmicas, nas quais vocês intervêm e constroem o vosso conhecimento?</i>		
João	Aulas com modelos, claro. Dá mais vontade de aprender.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁)
Carolina	Aulas normais são uma seca temos de estar sempre a escrever no caderno.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁)
Beatriz	É bem mais divertido. Se for só ler ou ouvir não se percebe.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁)
Renato	Ao passar a matéria aprendo menos porque não vejo. Com os modelos é mais realista.	A	Mais fácil aprender (A ₃)
Maria	Temos mais noção da realidade, da matéria e dos acontecimentos.	A	Compreendem melhor (A ₄)
Pedro	Pois foi, a aula dos modelos foi mesmo fixe. As aulas deviam de ser assim. Compreendemos melhor as coisas.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁) Compreendem melhor (A ₄)
Luís	Escrever é uma seca	A	Mais atrativa; interessante (A ₁)
Ricardo	Eu gosto mais de escrever por isso		

	não gosto muito das aulas práticas. (risos)		
Luís	Num inventes, pá... o que tu queres sei eu. (risos)		
Professora	Gostaram das aulas em que se utilizaram os modelos da formação de cadeias montanhosas: o caso dos Himalaias e da formação de falhas e dobras. Porquê?		
Telmo	Entende-se melhor quando se explica e se está a ver.	B	Não observam no quotidiano (B ₁)
Margarida	Com os modelos consegue-se perceber o que acontece na realidade.	A	Compreendem melhor (A ₄)
Ana	Não são tão secantes, entende-se melhor quando se explica e se está a ver. Vemos a matéria em 3D.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁) Mais dinâmica (A ₂) Mais fácil aprender (A ₃)
Professor-colaborador	<i>Os vossos resultados no final da atividade da formação dos Himalaias foram melhores do que no final da atividade da formação de falhas e dobras. Porquê? A que se deve isso? Até porque vocês já tinham utilizado um modelo...</i>		
David	Então, estivemos mais concentrados.	B	Menor atenção (B ₇)
Miguel	A matéria era mais fixe, mais interessante, mais história.	A	Mais atrativa; interessante (A ₁)
Joana	A montanha dá para ver melhor, para observar na realidade e as falhas não. O modelo facilitou a compreensão e esclareceu as dúvidas existentes. Além disso, as falhas são muito mais	A B	Compreendem melhor (A ₄) Não observam no quotidiano

	difíceis, tem muitos nomes.		(B ₁) Grau de dificuldade superior (B ₅)
Matilde	Era mais difícil perceber a falha no modelo.	B	Grau de dificuldade superior (B ₅)
Isabel	As montanhas são mais visíveis. As falhas nós não vemos lá fora.	B	Não observam no quotidiano (B ₁) Grau de dificuldade superior (B ₅)
Toni	Estudamos mais para as montanhas, porque gostamos mais.	B	Menor atenção (B ₇) Falta de estudo (B ₈)
Rui	As falhas são mais complicadas.	B	Grau de dificuldade superior (B ₅)
Luís	Gosto de Mc Donalds.		
Professor-colaborador	E o que é que isso tem a ver para o caso?		
Luís	Não sei. (risos)		
Maria	Eu percebi mais as dobras		
Professor-colaborador	Mas no geral os resultados das montanhas foram melhores.		
Luís	lh, professor, queimou-me o cérebro todo à pala disso...		

Professor-colaborador	<i>Mas o modelo não ajudou a compreender a formação de falhas e dobras?</i>		
Francisco	Ajudou mas...	A	Compreendem melhor (A ₄)
Afonso	As montanhas eram mais simples do que as dobras e falhas. Nós vemos as montanhas e a matéria é mais compreensível.	B	Não observam no quotidiano (B ₁) Grau de dificuldade superior (B ₅)
Margarida	As falhas e dobras eram mais confusas porque também não estudamos, é fácil.	B	Grau de dificuldade superior (B ₅) Falta de estudo (B ₈)
João	Temos outros interesses além da escola.		
David	A conclusão a que o professor chegou é que não estudamos! (risos).	B	Falta de estudo (B ₈)
João	Olha quem fala. (ruído)		
Professor-colaborador	<i>Os modelos e os Vês de Gowin ajudaram ou não a compreender como os geólogos trabalham?</i>		
Matilde	Ajudaram.	A C	Compreendem melhor (A ₄) Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam

			(C ₂)
Ricardo	Os geólogos trabalham com as mãos e têm de pensar de maneiras diferentes para compreenderem como funciona a Terra...	C	Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂)
Luís	Não havia de ser com os pés...		
Beatriz	Sim, também ficamos a saber que os geólogos realizam trabalhos de campo e estão numa salinha a investigar.	C	Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂)
Pedro	Os geólogos fazem pesquisas e descobertas e utilizam os modelos para essas descobertas.	C	Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂) Ajudou a compreender a utilização dos modelos (C ₃) Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C ₄)
Professor-colaborador	<i>Já aqui foram referidos alguns dos raciocínios que os geólogos utilizam e que nós exploramos na realização das atividades práticas. Alguém se lembra de todos os tipos de raciocínio abordados?</i>		

João	Usamos exemplos do dia-a-dia. Usamos o raciocínio científico, como os cientistas.	C	Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂)
Margarida	E eu lembro-me do professor falar numa coisa de analogia...nós tínhamos de dizer a que correspondia na realidade um determinado material. O V que realizamos ajudou-me a ver como se constrói o conhecimento.	C	Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂) Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C ₄)
Rui	Se, também, não soubermos a história os cientistas não conseguem inventar novas coisas.	C	O conhecimento em ciência é dinâmico (C ₁) Ajudou a compreender o trabalho dos geólogos e o raciocínio que utilizam (C ₂) Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento

			(C ₄)
Professor-colaborador	As vossas atividades práticas não foram só utilizarem modelos, pois não? Também realizaram um V de Gowin. Alguém percebeu a utilidade do V de Gowin? Para que serviu?		
Toni	Melhorar a minha capacidade de pensar e de relacionar.	C	Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C ₄)
Luís	Melhora é a tua cabeça oca (risos)		
Margarida	Ajuda a resumir.		
Professor-colaborador	Então, conseguiram perceber como se constrói o conhecimento?		
Vários	Sim.	C	Ajudou a compreender como se constrói o conhecimento (C ₄)
Sérgio	Nós vimos que o que os cientistas dizem hoje amanhã pode já não ser verdade.	C	O conhecimento em ciência é dinâmico (C ₁)
Carolina	Sim, com os resultados das experiências podem tirar-se conclusões	C	Ajudou a compreender a utilização dos modelos (C ₃)
Professor-colaborador	Então porque tiraram más notas?		
Renato	Porque não ligamos nenhuma.	B	Menor atenção (B ₇)
Luís	A matéria é uma seca e somos burros.	B	Menos curiosidade do

			que saber como se formaram as montanhas (B ₃) Grau de dificuldade superior (B ₅)
Renato	Queres comparar as notas com as faltas?		
Professor-colaborador	Se faltas e não queres saber é normal que tires más notas.		
Francisco	Eu tenho 987 horas no CS.		
Luís	Fraquinho, eu tenho 1800.		
Luís	Óh, professor. Fora os outros jogos...(risos) Até podia estudar mas há matérias que num gosto mesmo nada. Eu consigo jogar uma direta inteira e num consigo estudar 10 min.		
Professor-colaborador	Já viram a quantidade de dias completos que jogaram? Se aplicassem esse tempo a estudar seriam excelentes alunos! Bom, a aula terminou. Reflitam um pouco à cerca do dispêndio de horas que gastam no jogo...		